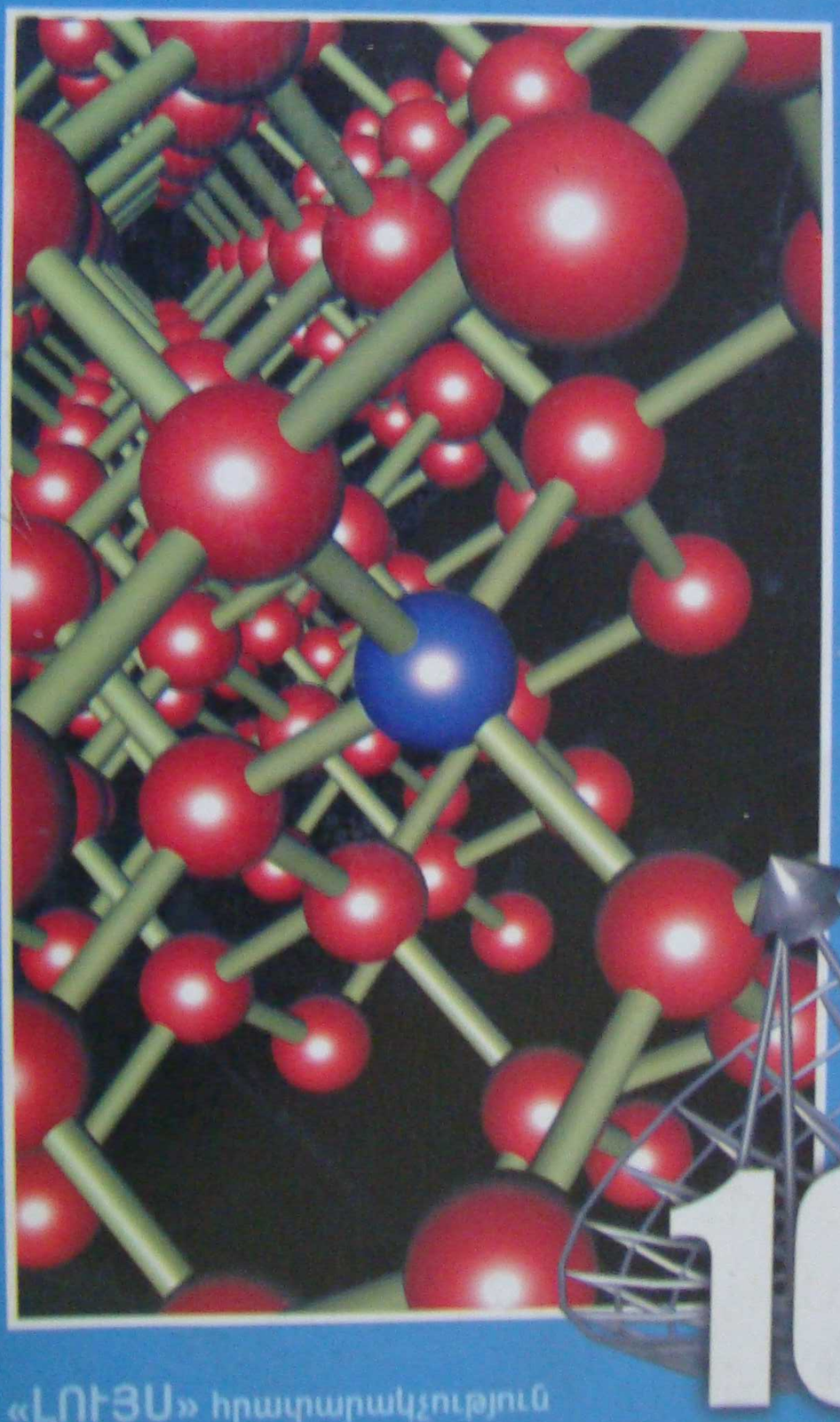
ՖԻԶԻԿԱ



10

«ԼՈՒՅՍ» հրատարակչություն

53(076)
Գ 12

«ԼՈՒՅՍ» հրատարակչություն

53(075)
9-12

53(075)
Գ-12

20 JUL 2010
24 JAN 2006

Ռ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ
Գ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ
Ա. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ

10

ԵՐԵՎԱՆ «ԼՈՒՅՍ» 2005

12 MAR 2019

Հաստատված է ՀՀ կրթության և գիտության նախարարության կողմից
որպես հանրակրթական դպրոցի դասագիրք

Դասագրքի հեղինակներն են՝

Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու Գ. Մելիքյանը (1-6-րդ գլուխներ)
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Ա. Կիրակոսյանը (7-8-րդ գլուխներ)
Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր Ռ. Գաբրիելյանը (9-13-րդ գլուխներ)

Լաբորատոր աշխատանքների բացատրականները՝ **Վ. Կարապետյանի**

Խմբագրությամբ՝
պրոֆեսոր Ա. Կիրակոսյանի

Կ $\frac{4306021200(22)}{702(01)}$ 2005

ISBN 5-545-01523-X

© «Լույս» հրատարակչություն, 2005
© Ռ. Գաբրիելյան, Գ. Մելիքյան, Ա. Կիրակոսյան

2579 - 2005

Երկրորդ հրատարակության առաջաբանը

«Ֆիզիկա-10» դասագրքի երկրորդ հրատարակության մեջ պահպանվել է նյութի շարադրման թեմատիկ հաջորդականությունը, որը համապատասխանում է ՀՀ ԿԳ նախարարության կողմից հաստատված ծրագրին (Ֆիզիկա. Հայեցակարգ և Ծրագրեր միջնակարգ դպրոցի 7–10-րդ դասարանների համար. Երևան, 1996թ.): Աստղանիշով (*) տրված են Ծրագրում չընդգրկված թեմաները, որոնք նախատեսված են ֆիզիկամաթեմատիկական հոսքերի աշակերտների համար:

«Ֆիզիկա-10» դասագրքի առաջին հրատարակության (2000թ.) համեմատությամբ ներկա հրատարակության մեջ կատարվել են հետևյալ փոփոխությունները.

1. Ավելացվել է մեկ պարագրաֆ՝ նվիրված Հյույգենսի սկզբունքին և դրա հիման վրա լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքների արտածմանը (գլ. 8, § 82), իսկ երկրաչափական օպտիկայում (գլ. 7) լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքները տրված են որպես փորձերի ընդհանրացման արդյունք:
2. Փոփոխվել է մի քանի գրաֆիկ և գծագիր:
3. Բնականաբար, ուղղվել են առաջին հրատարակության մեջ առկա սխալները, վրիպակները և թերությունները:

Հեղինակները երախտապարտ են բոլոր նրանց, ովքեր իրենց դիտողություններով և առաջարկներով օգնել են վերացնելու առաջին հրատարակության մեջ տեղ գտած թերությունները և կատարելու մի շարք բարելավումներ: Մեր հատուկ շնորհակալությունն ենք հայտնում պրոֆ. Ռ. Կիրակոսյանին, դասախոս Ս. Մաիլյանին (ՀՊՃՀ) և դոցենտ Ա. Պետրոսյանին (ԵՊՀ)՝ արժեքավոր և օգտակար դիտողությունների և առաջարկների համար:

Հեղինակներ

Դասագրքում օգտագործվող որոշ մաթեմատիկական նշանների բացատրությունները

$A \sim B$	A-ն համեմատական է B-ին, A-ն և B-ն նույն կարգի մեծություններ են
$A \approx B$	A-ն մոտավորապես հավասար է B-ին
$A \neq B$	A-ն հավասար չէ B-ին
$A >> B$	A-ն շատ մեծ է B-ից
$A << B$	A-ն շատ փոքր է B-ից
$A \geq B$	A-ն մեծ կամ հավասար է B-ին
$A \leq B$	A-ն փոքր կամ հավասար է B-ին
$A + B$	A-ից մինչև B
$A \rightarrow B$	A-ն ձգտում է B-ին

Հունական այբուբեն

Α	α	ալֆա	Ι	ι	յոտա	Ρ	ρ	ռո
Β	β	բետա	Κ	κ	կապպա	Σ	σ	սիգմա
Γ	γ	գամմա	Λ	λ	լամբդա	Τ	τ	տաու
Δ	δ	դելտա	Μ	μ	մյու	Υ	υ	իփսիլոն
Ε	ε	էփսիլոն	Ν	ν	նյու	Φ	φ	ֆի
Ζ	ζ	զետա	Ξ	ξ	քսի	Χ	χ	խի
Η	η	էտա	Ο	ο	օմիկրոն	Ψ	ψ	փսի
Θ	θ	թետա	Π	π	պի	Ω	ω	օմեգա

Բազմապատիկ նախածանցներ

Մեծացնող		
անվանումը	նշանակումը	արժեքը
Էքսա	Է	10^{18}
Պետա	Պ	10^{15}
Տերա	Տ	10^{12}
Գիգա	Գ	10^{9}
Մեգա	Մ	10^{6}
կիլո	կ	10^{3}

Փոքրացնող		
անվանումը	նշանակումը	արժեքը
միլի	մ	10^{-3}
միկրո	մկ	10^{-6}
նանո	ն	10^{-9}
պիկո	պ	10^{-12}
ֆեմտո	ֆ	10^{-15}
ատտո	ա	10^{-18}

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԿԱՆ ՀՍՏԱԿԱՐԱՆ

Ներածություն

9-րդ դասարանի ֆիզիկայից դուք արդեն ծանոթ եք էլեկտրական լիցքերի միմյանց վրա ունեցած ազդեցությանը (գործողությանը) տարբեր միջավայրերում: Էլեկտրական լիցքերի միմյանց վրա ունեցած ազդեցությունը հաշվի առնելու համար անհրաժեշտ է ներմուծել էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի հասկացությունը, որի միջոցով էլ կարելի է նկարագրել էլեկտրական լիցքերի միջև փոխազդեցությունը: Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորը ունի ինչպես թվային, այնպես էլ երկրաչափական բնութագրեր: Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի թվային բնութագրերը հնարավորություն են տալիս հաշվարկել էլեկտրական լիցքերի միջև ազդող ուժերը, իսկ երկրաչափական բնութագրերը՝ պատկերել էլեկտրական դաշտը:

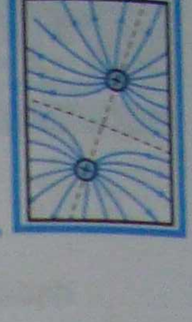
Դասարանում կատարված փորձերի միջոցով ուսումնասիրվել են էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը տարբեր դեպքերում: Ստացվել է, որ էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի (կամ էլեկտրական դաշտի) ուղղությունը համընկնում է դրական լիցքի վրա ազդող էլեկտրական ուժի ուղղության հետ: Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է դրական լիցքի վրա ազդող ուժի ուղղությունը իմանալ: Սակայն գործնականում հաճախ անհրաժեշտ է լինում որոշել էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը այնպիսի դեպքերում, երբ դրական լիցքի վրա ազդող ուժի ուղղությունը հնարավոր չէ որոշել:

Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է իմանալ էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի կապը դաշտը ստեղծող լիցքերի հետ:

Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է իմանալ էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի կապը դաշտը ստեղծող լիցքերի հետ:

Էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի ուղղությունը որոշելու համար անհրաժեշտ է իմանալ էլեկտրական դաշտի ուժգնության վեկտորի կապը դաշտը ստեղծող լիցքերի հետ:

1 ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿԱ



§ 1. Էլեկտրական լիցք: Լիցքի պահպանման օրենքը

Եթե մարմինն օժտված է էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության մեջ մտնելու հատկությամբ, ապա ասում են, որ այն կրում է էլեկտրական լիցք կամ լիցքավորված է: ***Էլեկտրական լիցքը մարմնի՝ էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության մեջ մտնելու հատկության քանակական չափն է:*** Այն սկալյար ֆիզիկական մեծություն է:

Էլեկտրական լիցքի մասին մեր ունեցած փորձարարական տվյալները թույլ են տալիս անել հետևյալ եզրակացությունները:

1. Լիցքավորված մարմինները կարող են ինչպես ձգել, այնպես էլ վանել միմյանց: Այս փաստի հիման վրա ֆրանսիացի գիտնական Շ.Դյուֆեն 1733 թվականին հանգեց այն եզրակացության, որ բնության մեջ գոյություն ունեն երկու տիպի էլեկտրական լիցքեր, որոնց հետագայում ամերիկացի գիտնական և քաղաքական գործիչ Ֆրանկլինն անվանեց «դրական» և «բացասական»: Բոլոր նույնանուն լիցքերն իրար վանում են, իսկ տարանունները՝ ձգում: Ատոմները կազմող տարրական մասնիկներից պրոտոնի լիցքն անվանում են դրական, իսկ էլեկտրոնինը՝ բացասական:

2. Էլեկտրական լիցքը կարող է ընդունել միայն ընդհատ արժեքներ: Բնության մեջ գոյություն ունի լիցքի որոշակի նվազագույն քանակություն, որը չի մասնատվում էլ ավելի փոքր քանակների: Լիցքի այդ նվազագույն քանակն անվանում են ***տարրական լիցք**:* Կամայական մարմնի լիցքը տարրական լիցքի բազմապատիկն է: Տարրական դրական լիցք է կրում պրոտոնը, իսկ մոդուլով այդ լիցքին հավասար, սակայն բացասական տարրական լիցք կրում է էլեկտրոնը: Տարրական լիցքը նշանակում են e տառով: Էլեկտրոնի լիցքը՝ $q_e=-e$, իսկ պրոտոնինը՝ $q_p=e$: Մարմինն էլեկտրականապես չեզոք է, այսինքն՝ նրա լիցքը հավասար է զրոյի, եթե նրանում էլեկտրոնների թիվը (N_e) հավասար է պրոտոնների թվին (N_p): Եթե պրոտոնների թիվը մեծ է էլեկտրոնների թվից, ապա մարմնի լիցքը դրական է, իսկ եթե էլեկտրոնների թիվն է մեծ պրոտոնների թվից՝ բացասական: Ընդհանուր դեպքում մարմնի լիցքը՝

$$q=(N_p-N_e)e: \qquad (1.1)$$

3. Էլեկտրական լիցքի մյուս կարևոր հատկությունն այն է, որ ***փակ համակարգում տեղի ունեցող կանկացած պրոցեսում համակարգը կազմող բոլոր մարմինների (մասնիկների) լիցքերի հանրահաշվական գումարը մնում է անփոփոխ:*** Բազմաթիվ փորձնական փաստերի հիման վրա ստացված այս պնդումը հայտնի է որպես ***էլեկտրական լիցքի պահպանման օրենք:***

---

* Տարրական լիցքի մասին ներկայիս պատկերացումները բերված են գլ. 13-ում:

Համակարգը համարվում է փակ, եթե նրա մեջ արտաքինից չեն մտնում և նրանից դուրս չեն գալիս լիցքավորված մարմիններ (մասնիկներ): Եթե փակ համակարգ կազմող մասնիկների լիցքերը նշանակենք $q_1, q_2, \dots, q_n$, ապա, համաձայն լիցքի պահպանման օրենքի՝

$$q_1 + q_2 + \cdots + q_n = const \quad (1.2)$$

Էլեկտրական լիցքի պահպանման օրենքը նույնպիսի հիմնարար ֆիզիկական օրենք է, ինչպիսիք են էներգիայի և իմպուլսի պահպանման օրենքները:

Եթե փակ համակարգում էլեկտրոնների, պրոտոնների և լիցքավորված այլ տարրական մասնիկների քիվը չի փոփոխվում, ապա լիցքի պահպանման օրենքի տեղի ունենալն ակնհայտ է: Սակայն տարրական մասնիկները կարող են փոխակերպվել մեկը մյուսին, ծնվել կամ ոչնչանալ: Այդ դեպքերում փակ համակարգում կարող են ի հայտ գալ դրական և բացասական նոր լիցքեր: Տարրական մասնիկների բազմաթիվ փոխակերպումների դիտումները ցույց են տալիս, որ նշված դեպքերում նույնպես տեղի ունի լիցքի պահպանման օրենքը: Նման փոխակերպումներում համակարգի դրական և բացասական լիցքերի քանակությունները փոփոխվում են, սակայն դրանց հանրահաշվական գումարը միշտ մնում է հաստատուն: Այսպես, օրինակ, եթե էլեկտրականապես չեզոք տարրական մասնիկի փոխակերպման արդյունքում ծնվում է դրական լիցք ունեցող որևէ նոր մասնիկ, ապա նրա հետ անպայման ծնվում է մոդուլով հավասար, սակայն բացասական լիցք կրող մեկ այլ մասնիկ ևս, այնպես որ նրանց ընդհանուր լիցքը մնում է հավասար զրոյի: Օրինակ՝ էլեկտրականապես չեզոք նեյտրոնը կարող է փոխարկվել պրոտոնի և էլեկտրոնի: Այդ դեպքում փոխարկումից առաջ և հետո էլեկտրական լիցքը հավասար է զրոյի:

Հարցեր և առաջադրանքներ

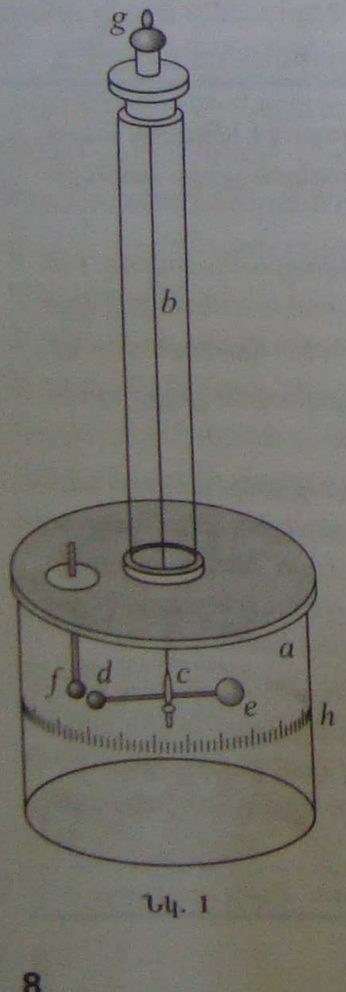
1. *Ո՞ր լիցքն են անվանում տարրական:*
2. *Բերե՛ք դրականապես լիցքավորված և բացասականապես լիցքավորված տարրական մասնիկների օրինակներ:*
3. *Կարելի՞ է արդյոք էլեկտրական լիցքն անվերջ բաժանել:*
4. *Ատոմը կազմող ո՞ր մասնիկներն են կրում տարրական լիցք:*
5. *Թվարկե՛ք էլեկտրական լիցքի հատկությունները:*
6. *Ի՞նչ է նշանակում «մարմինը լիցքավորված է դրական լիցքով» արտահայտությունը:*
7. *Ի՞նչ է նշանակում «մարմինը լիցքավորված է բացասական լիցքով» արտահայտությունը:*
8. *Ի՞նչ է նշանակում «մարմինը լիցքավորված չէ» արտահայտությունը:*
9. *Ի՞նչ արժեքներ կարող է ընդունել մարմնի լիցքի և տարրական լիցքի հարաբերությունը:*
10. *Չեզոք ապակին շփեցին մետաքսով: Ինչի՞ է հավասար ապակու և մետաքսի վրա առաջացած լիցքերի հարաբերությունը:*
11. *Ձևակերպե՛ք էլեկտրական լիցքի պահպանման օրենքը:*
12. *Հավասար քանակությամբ, սակայն հակառակ նշանի լիցքեր կրող երկու հաղորդիչ հպեցին իրար: Ինչի՞ հավասար կլինի յուրաքանչյուրի լիցքը հաղորդիչներն իրարից հեռացնելուց հետո:*
13. *Կարո՞ղ է արդյոք մարմինների փակ համակարգում դրական լիցքերի ընդհանուր գումարը մեծանալ կամ փոքրանալ:*

§ 2. Կուլոնի օրենքը

Էլեկտրադինամիկայի այն բաժինը, որն ուսումնասիրում է դադարի վիճակում էլեկտրացված լիցքերի փոխազդեցության օրինաչափությունները, կոչվում է էլեկտրաստատիկա:

Լիցքավորված անշարժ մարմինների փոխազդեցությունը քանակապես բնութագրվում է մի օրենքով, որը 1785 թ. փորձնական ճանապարհով սահմանել է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Շ.Կուլոնը, ուստի այդ օրենքը կրում է նրա անունը: Ելնելով այդ օրենքի հիմնաբար բնույթից, այն անվանում են նաև ***էլեկտրաստատիկայի հիմնական օրենք:*** Կուլոնի օրենքը սահմանվում է կետային լիցքերի համար: ***Լիցքը կոչվում է կետային, եթե այն կրող մարմինը տվյալ խնդրում կարելի է համարել նյութական կետ:***

Իր փորձերն իրականացնելու համար Կուլոնը ստեղծեց ոլորակշեռք կոչվող սարքը (նկ.1): Ոլորակշեռքը բաղկացած է ապակե a անոթից, որի մեջ բարակ, առածգական b մետաղալարից կախված է c մեկուսիչ լծակը: Լծակի մի ծայրին ամրացված է ոսկու բարակ շերտով պատված d հաղորդիչ գնդիկը, իսկ մյուս ծայրին՝ e հակակշիռը՝ լծակը հորիզոնական դիրքում հավասարակշռելու համար: Ապակե անոթը սարքը պաշտպանում է օդի պատահական հոսանքների ազդեցությունից: Մետաղալարի վերին ծայրն ամրացված է նրա ոլորման անկյունը չափող գործիքի պտտվող g գլխիկին: Սարքի ներսում գտնվում է d գնդիկի չափի ևս մեկ հաղորդիչ f գնդիկ, որը մեկուսիչ ձողով անշարժ ամրացված է ոլորակշեռքի կափարիչին: Ապակե անոթի պատին, c լծակի հարթության մեջ գտնվող h սանդղակի միջոցով որոշվում է d և f գնդիկների (փոխազդող լիցքերի) հեռավորությունը:

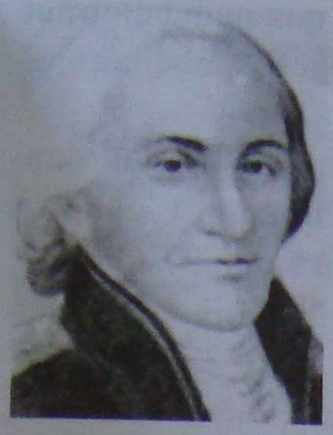


Նկ. 1

Նույն նշանի լիցքերով լիցքավորելիս d և f գնդիկները վանում են միմյանց, և c լծակը պտտվում է՝ ոլորելով b մետաղալարը: d և f գնդիկներն իրարից որոշակի հեռավորության վրա պահելու համար անհրաժեշտ է g գլխիկի օգնությամբ մետաղալարը որոշակի անկյամբ պտտել հակառակ ուղղությամբ: Չափելով այդ անկյունը՝ կարելի է որոշել գնդիկների փոխազդեցության ուժերի մոդուլը: Անփոփոխ թողնելով գնդիկների լիցքը և չափելով նրանց փոխազդեցության ուժերի մոդուլը տարբեր հեռավորությունների դեպքում՝ Կուլոնը նկատեց, որ լիցքերի փոխազդեցության ուժերի F մոդուլը հակադարձ համեմատական է նրանց r հեռավորության քառակուսուն՝

$$F \sim \frac{1}{r^2}: \qquad (1.3)$$

Ավելի դժվար էր պարզել, թե փոխազդեցության ուժերի մոդուլն ինչպես է կախված փոխազդող լիցքերի մեծություններից, քանի որ այն ժամանակ դեռևս գոյություն չուներ լիցքի միավոր, և պարզ չէր, թե ինչպես կարելի է չափել լիցքը: Սակայն Կուլոնը հնարամտորեն շրջանցեց այդ դժվարությունը: Նա d կամ f գնդիկը հպում էր նույնպիսի չլիցքավորված



Կուլոն Շառլ Օգյուստեն (1736 - 1806)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս և ռազմական ճարտարագետ, ուսումնասիրել է էլեկտրական լիցքերի և հաստատուն մագնիսների փոխազդեցության օրինաչափությունները, ձևակերպել է սահքի և գլորման շփման օրենքները: Կուլոնի փորձարարական աշխատանքները կարևոր նշանակություն ունեցան էլեկտրամագնիսական երևույթների տեսության ստեղծման համար:

հաղորդիչ գնդիկի, որին էր անցնում սկզբնական լիցքի կեսը: Նման եղանակով նա կարողանում էր լիցքը փոքրացնել 2, 4 և ավելի անգամ: Փոփոխելով գնդիկների լիցքերը՝ Կուլոնը նկատեց, որ փոխազդեցության ուժերի մոդուլն ուղիղ համեմատական է յուրաքանչյուր լիցքի մոդուլին, հետևաբար, և նրանց մոդուլների արտադրյալին.

$$F \sim |q_1||q_2|: \tag{1.4}$$

Միավորելով փորձերից ստացվող այս երկու արդյունքները՝ Կուլոնը հայտնաբերեց հետևյալ կախումը՝

$$F \sim \frac{|q_1||q_2|}{r^2}: \tag{1.5}$$

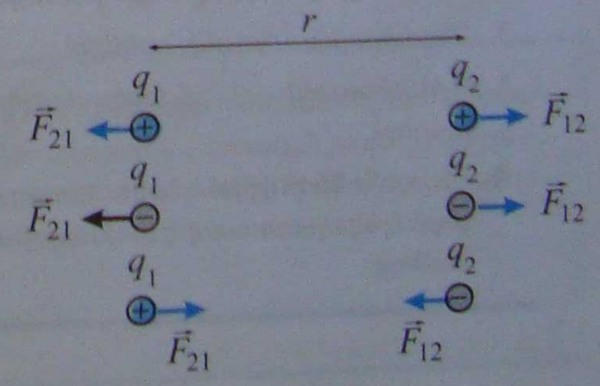
Համեմատականության նշանը (1.5) արտահայտության մեջ կարող ենք փոխարինել հավասարման նշանով՝ ներմուծելով k համեմատականության գործակից.

$$\boxed{F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}}: \tag{1.6}$$

Լիցքերի փոխազդեցության ուժերը կախված են նաև այն միջավայրի հատկություններից, որում գտնվում են լիցքերը: Կուլոնի փորձերում որպես միջավայր հանդես էր գալիս օդը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ օդը շատ քիչ ազդեցություն է թողնում փոխազդեցության վրա: Լիցքավորված մարմինների փոխազդեցության ուժերն օդում գրեթե նույնն են, ինչ որ վակուումում: Փորձով հեշտ է հայտնաբերել նաև, որ փոխազդեցության ուժերն ուղղված են լիցքավորված կետային մարմինները միացնող ուղղի երկայնքով այնպես, որ նույնանուն լիցքերն իրար վանում են, տարանուն լիցքերը՝ ձգում (նկ.2): Հաշվի առնելով այս հանգամանքը, Կուլոնի օրենքը կարող ենք ձևակերպել այսպես.

Վակուումում երկու անշարժ կետային լիցքեր փոխազդում են այնպիսի ուժերով, որոնք ուղղված են լիցքերը միացնող ուղղի երկայնքով, և որոնց մոդուլն ուղիղ համեմատական է լիցքերի մոդուլների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական՝ նրանց հեռավորության քառակուսուն:

Այն, որ լիցքերի փոխազդեցության ուժերը պետք է ուղղված լինեն լիցքերը միացնող ուղղի երկայնքով, բխում է նաև խնդրի համաչափությունից: Իրոք, երկու լիցքերի փոխազդեցության դեպքում տարածության մեջ միակ ընտրված ուղղությունը, որը համարժեք չէ մյուսներին, լիցքերը միացնող ուղիղն է, որով և ուղղված են



Նկ. 2

նրանց փոխազդեցության ուժերը: Այսպիսով՝ լիցքերի կուլոնյան փոխազդեցության ուժերն ունեն կենտրոնական բնույթ և, քանի որ կախված են միայն փոխազդող լիցքերի հեռավորությունից, հետևաբար պոտենցիալային են:

Կուլոնի օրենքն արտահայտող (1.6) բանաձևում k համեմատականության գործակիցն ունի հետևյալ ֆիզիկական իմաստը: Այն թվապես հավասար է միավոր հեռավորության վրա գտնվող միավոր լիցքերի փոխազդեցության ուժերի մոդուլին: k գործակցի արժեքը կախված է միավորների ընտրությունից և որոշվում է փորձնական եղանակով:

Կուլոնի օրենքը համեմատելով տիեզերական ձգողության օրենքի հետ՝ մեծ նմանություն ենք տեսնում: Ե՛վ էլեկտրաստատիկ, և՛ գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժերն ուղիղ համեմատական են կետային մարմինների փոխազդեցության պատճառ հանդիսացող, մի դեպքում լիցքերի, մյուս դեպքում՝ զանգվածների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական են հեռավորության քառակուսուն: Երկու ուժերն էլ ուղղված են փոխազդող կետային մարմինները միացնող ուղղով: Սակայն փոխազդեցության այս երկու տեսակներն ունեն նաև էական տարբերություններ: Գրավիտացիոն ուժերը միշտ ձգողական բնույթի են, մինչդեռ էլեկտրաստատիկ ուժերը կարող են լինել ինչպես ձգողական, այնպես էլ վանողական բնույթի: Էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժերը շատ ավելի հզոր են, քան գրավիտացիոն ուժերը (տե՛ս էջ 37, 1. խնդիրը):

Կուլոնի օրենքը ճիշտ է ոչ միայն կետային լիցքերի համար, այլև լիցքավորված գնդային մարմինների համար, որոնց լիցքերը համաչափորեն են բաշխված նրանց ամբողջ ծավալում կամ մակերևույթին: Այդ դեպքերում որպես մարմինների հեռավորություն պետք է հասկանալ գնդերի կենտրոնների հեռավորությունը:

Եթե փոխազդող լիցքավորված մարմիններն ունեն կամայական ձև և չեն կարող դիտարկվել որպես կետային լիցքեր, ապա նրանց էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժերի հաշվարկը բարդ մաթեմատիկական խնդիր է: Այդ ուժերի որոշման համար մարմիններից յուրաքանչյուրը պետք է դիտել որպես կետային լիցքերի համակարգ, գտնել տարբեր մարմիններին պատկանող կետային լիցքերի յուրաքանչյուր զույգի փոխազդեցության ուժերը և հաշվել յուրաքանչյուր մարմնին կիրառված բոլոր ուժերի համազորը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ե՞րբ կարելի է էլեկտրական լիցքը համարել կետային:*
2. *Նկարագրե՛ք ոլորակշեռքի կառուցվածքը:*
3. *Ձևակերպե՛ք Կուլոնի օրենքը:*
4. *Գրե՛ք Կուլոնի օրենքն արտահայտող բանաձևը:*
5. *Ինչպե՞ս են ուղղված երկու կետային լիցքերի էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժերը:*
6. *Ձևակերպե՛ք Կուլոնի օրենքի բանաձևում k համեմատականության գործակցի ֆիզիկական իմաստը:*
7. *Որո՞նք են տիեզերական ձգողության և Կուլոնի օրենքի նմանություններն ու տարբերությունները:*
8. *Ինչպիսի՞ լիցքավորված մարմինների համար է ճիշտ Կուլոնի օրենքը:*

§ 3. Էլեկտրական լիցքի միավորը

Էլեկտրական մեծությունները չափելու համար միավորների Միջազգային համակարգում (ՄՀ) մետրի, վայրկյանի և կիլոգրամի հետ մեկտեղ ներմուծվում է ևս մեկ հիմնական միավոր: Դա հոսանքի ուժի միավորն է՝ ամպերը (Ա), որի սահմանումը կտրվի 2-րդ գլխում: Էլեկտրական այլ մեծությունների, այդ թվում՝ նաև լիցքի միավորները ածանցյալ են և սահմանվում են հոսանքի ուժի միավորի միջոցով: ՄՀ-ում լիցքի միավորը ***մեկ կուլոնն է՝ $[q]^* = 1$ Կլ: 1 կուլոնը (1 Կլ) այն լիցքն է, որը 1 վ-ում անցնում է հաղորդչի լայնական հատույթով, երբ նրանում հաստատուն հոսանքի ուժը 1Ա է:***

Բնության մեջ գոյություն ունեցող ամենափոքր՝ տարրական լիցքի մոդուլը՝ $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Կլ :

Սահմանելով լիցքի միավորը՝ կարող ենք որոշել Կուլոնի օրենքն արտահայտող բանաձևում k համեմատականության գործակցի միավորը և չափել նրա թվային արժեքը: (1.6) բանաձևից՝

$$k = \frac{Fr^2}{|q_1||q_2|} : \qquad (1.7)$$

Միավորների ՄՀ-ում ուժն արտահայտվում է նյուտոնով, հեռավորությունը՝ մետրով, իսկ լիցքը՝ կուլոնով, ուստի k գործակիցը կարտահայտվի Ն·մ^2/Կլ^2-ով: Չափելով տրված r հեռավորության վրա գտնվող հայտնի $|q_1|$ և $|q_2|$ կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժերի F մոդուլը՝ (1.7) բանաձևից կարելի է որոշել k-ի արժեքը: Փորձը ցույց է տալիս, որ

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Ն} \cdot \text{մ}^2/\text{Կլ}^2 :$$

Կուլոնի օրենքից բխող մի շարք առնչություններ առավել պարզ տեսք են ընդունում, երբ k հաստատունը ներկայացվում է

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \qquad (1.8)$$

տեսքով: ε_0 մեծությունը կոչվում է ***էլեկտրական հաստատուն:*** Այն հավասար է

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \text{ Կլ}^2/(\text{Ն} \cdot \text{մ}^2) : \qquad (1.9)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպե՞ս է սահմանվում էլեկտրական լիցքի միավորը ՄՀ-ում:*
2. *Ինչի՞ է հավասար էլեկտրոնի լիցքը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար Կուլոնի օրենքի բանաձևում k համեմատականության գործակցի արժեքը:*
4. *Կուլոնի օրենքի բանաձևում համեմատականության k գործակցի չափայնությունն արտահայտե՛ք ՄՀ-ի հիմնական միավորներով:*

* Հիշե՛ք, որ $[A]$ նշանակումն օգտագործվում է A ֆիզիկական մեծության միավորը նշելու համար:

§ 4. Էլեկտրական դաշտ

Կուլոնի օրենքը թույլ է տալիս որոշել երկու լիցքավորված մարմինների փոխազդեցության ուժը, սակայն չի բացահայտում այդ փոխազդեցության ֆիզիկական պատկերը, չի պատասխանում այն հարցին, թե ինչ եղանակով է q_1 լիցքն ազդում իրենից որոշ հեռավորության վրա գտնվող q_2 լիցքի վրա: Նման խնդիր առաջանում է նաև երկու մարմինների գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժը Նյուտոնի տիեզերական ձգողության օրենքով նկարագրելիս:

Ֆիզիկայի զարգացման ընթացքում այս հարցերին պատասխանելիս առաջադրվել են երկու հակադիր մոտեցումներ:

Համաձայն առաջին մոտեցման՝ մի մարմինը հեռավորության վրա մեկ այլ մարմնի հետ կարող է փոխազդել առանց միջանկյալ մարմինների կամ միջավայրի մասնակցության, այսինքն՝ ենթադրվում է, որ ազդեցությունը մի մարմնից մյուսին փոխանցվում է դատարկության միջով: Ենթադրվում է նաև, որ այն տեղի է ունենում ակնթարթորեն՝ անվերջ մեծ արագությամբ: Ըստ այս տեսակետի՝ միայն մեկ լիցքը տարածության մեջ ոչ մի փոփոխություն չի առաջացնում: Փոխազդեցության բացատրության նման մոտեցումը կազմում է, այսպես կոչված, ***հեռազդեցության տեսության*** էությունը:

Համաձայն երկրորդ մոտեցման՝ մի մարմինը մյուսի վրա ազդում է որոշակի միջավայրի օգնությամբ, ընդ որում՝ ազդեցությունը տարածվում է վերջավոր արագությամբ: Այսպիսի մոտեցումը կազմում է ***մերձազդեցության տեսության*** էությունը: Ժամանակակից ֆիզիկան կառուցված է մերձազդեցության տեսության հիման վրա: Համաձայն այդ տեսության՝ նույնիսկ մեկ լիցքը շրջակա տարածության մեջ առաջացնում է որոշակի փոփոխություն: Յուրաքանչյուր լիցք իր շրջակա տարածությունն օժտում է յուրահատուկ ֆիզիկական հատկություններով, այլ խոսքով՝ ասում ենք, որ լիցքն իր շուրջը ստեղծում է ***էլեկտրական դաշտ,*** որն էլ ազդում է դաշտում տեղադրված ցանկացած այլ լիցքի վրա: Այսպիսով, երկու լիցքեր միմյանց վրա անմիջականորեն չեն ազդում: Նրանցից յուրաքանչյուրն իր շուրջը ստեղծում է էլեկտրական դաշտ, և մի լիցքի դաշտն ազդում է մյուս լիցքի վրա և ընդհակառակը:

Էլեկտրական դաշտի գաղափարն առաջին անգամ գիտության մեջ ներմուծել է Ֆարադեյը: Այդ գաղափարն իր հետագա զարգացումը ստացավ Մաքսվելի աշխատանքներում և հիմնավորվեց մի շարք փորձարարական հետազոտություններով: Մերձազդեցության տեսությունն իր վերջնական հաղթանակը տարավ էլեկտրամագնիսական ալիքների հայտնագործումից հետո, երբ ցույց տրվեց, որ էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը չի կարող հաղորդվել վակուումում լույսի տարածման $c = 300000$ կմ/վ արագությունից մեծ արագությամբ:

Իսկ ի՞նչ է իրենից ներկայացնում էլեկտրական դաշտը, ինչի՞ց է այն բաղկացած, հնարավոր չէ՞ արդյոք այն ներկայացնել մեզ արդեն ծանոթ ֆիզիկական հասկացությունների միջոցով: Այս հարցերին պատասխանելն անչափ բարդ է, և դրանց ուսումնասիրությունը ժամանակակից ֆիզիկայի կարևորագույն խնդիրներից մեկն է: Դաշտի մասին կարելի է պատկերացում կազմել՝ նշելով նրա հիմնական հատկությունները.

1. Էլեկտրական դաշտը մատերիայի տեսակներից մեկի՝ ***էլեկտրամագնիսական դաշտի*** դրսևորումներից է:

2. Էլեկտրական դաշտն օժտված է էներգիայով:

Ֆարադեյ Մայքլ (1791-1867)

Անգլիացի ֆիզիկոս և քիմիկոս: Էլեկտրամագնիսական դաշտի մասին ուսմունքի հիմնադիր: Հայտնագործել է էլեկտրամագնիսական մակածման և էլեկտրոլիզի օրենքները: Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի վերաբերյալ նրա գաղափարները մեծ ազդեցություն են ունեցել ֆիզիկայի զարգացման վրա:

3. Էլեկտրական դաշտը որոշակի ուժով ազդում է դաշտում տեղադրված լիցքի վրա:

Վերջին հատկության շնորհիվ կարելի է գաղափար կազմել դաշտի գոյության մասին: Էլեկտրական դաշտ ստեղծում են անշարժ և շարժվող լիցքերը: Անշարժ լիցքի ստեղծած դաշտն անվանում են ***էլեկտրաստատիկ դաշտ:*** Ֆիզիկայի դասընթացի ուսումնասիրմանը զուգընթաց մենք կծանոթանանք դաշտի մի շարք նոր հատկությունների:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞րն է հեռազդեցության տեսության էությունը:*
2. *Ինչպե՞ս է իրականացվում երկու լիցքերի փոխազդեցությունն ըստ մերձազդեցության տեսության:*
3. *Ինչպե՞ս կարելի է հայտնաբերել էլեկտրական դաշտի գոյությունը:*
4. *Ո՞ր դաշտն է կոչվում էլեկտրաստատիկ:*
5. *Թվարկե՛ք էլեկտրական դաշտի հիմնական հատկությունները:*

§ 5. Էլեկտրական դաշտի լարվածություն

Լիցքի վրա էլեկտրական դաշտի ազդեցությունը բանակապես բնութագրելու համար ներմուծվում է մի վեկտորական մեծություն, որն էլեկտրական դաշտի ուժային բնութագիրն է և թույլ է տալիս որոշել յուրաքանչյուր կետում տեղադրված կամայական լիցքի վրա ազդող ուժի մոդուլը և ուղղությունը:

Եթե էլեկտրական դաշտի տվյալ կետում հերթով տեղադրենք տարբեր կետային լիցքեր՝ q_1, q_2, ... , q_n, և ամեն անգամ որոշենք լիցքերի վրա ազդող $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ..., $\vec{F}_n$ ուժերը, ապա կհամոզվենք, որ բոլոր լիցքերի համար ազդող ուժի ու լիցքի հարաբերությունը կախված չէ լիցքի արժեքից և այդ կետում ունի հաստատուն մոդուլ և ուղղություն՝

$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \ldots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} = const \ ,$$

հետևաբար՝ կարող է ծառայել որպես էլեկտրական դաշտի բնութագիր: Այն անվանում են ***էլեկտրական դաշտի լարվածություն*** և նշանակում $\vec{E}$ տառով:

Էլեկտրական դաշտի լարվածություն կոչվում է այն վեկտորական մեծությունը, որը հավասար է դաշտի տվյալ կետում տեղադրված կետային լիցքի վրա ազդող ուժի և այդ լիցքի հարաբերությանը:

Եթե տարածության տվյալ կետում տեղադրված q կետային լիցքի վրա դաշտն ազդում է $\vec{F}$ ուժով, ապա դաշտի լարվածությունն այդ կետում՝

$$\boxed{\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}}\ : \qquad (1.10)$$

(1.10) բանաձևից հետևում է, որ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը վեկտորական մեծություն է: Տրված $\vec{E}$ լարվածությամբ էլեկտրական դաշտի կողմից կամայական q լիցքի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժը որոշվում է (1.10) բանաձևից՝

$$\boxed{\vec{F}=q\vec{E}}\ : \qquad (1.11)$$

Լարվածությունն էլեկտրական դաշտի ուժային բնութագիրն է, քանի որ այն որոշում է q լիցքի վրա ազդող ուժը: $\vec{E}$ վեկտորի ուղղությունը համընկնում է դրական լիցքի վրա դաշտի կողմից ազդող ուժի ուղղության հետ և հակադիր է բացասական լիցքի վրա ազդող ուժին:

Միավորների ՄՀ-ում ուժի միավորը 1 Ն-ն է՝ $[F]=1$Ն, իսկ լիցքի միավորը՝ 1 Կլ-ը՝ $[q]=1$ Կլ, ուստի լարվածության միավորը կլինի՝

$$[E]=\frac{[F]}{[q]}=\frac{1\text{Ն}}{1\text{Կլ}}=1\frac{\text{Ն}}{\text{Կլ}}:$$

1Ն/Կլ-ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է այն կետում, որտեղ տեղադրված 1Կլ կետային լիցքի վրա դաշտն ազդում է 1Ն ուժով:

Տարածության տարբեր կետերում դաշտի լարվածությունը կարող է ընդունել տարբեր արժեքներ և ունենալ տարբեր ուղղություններ: Դաշտը կոչվում է ***համասեռ***, եթե նրա բոլոր կետերում լարվածությունը նույնն է՝ $\vec{E}=const$:

Կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը: Հաշվենք q_0 կետային լիցքի ստեղծած էլեկտրական դաշտի լարվածությունը տարածության կամայական կետում: Դրա համար, ըստ (1.10) սահմանման, պետք է այդ կետում տեղադրել որևէ q կետային լիցք, որոշել նրա վրա ազդող $\vec{F}$ ուժը և այն բաժանել այդ լիցքի վրա: Կուլոնի օրենքի համաձայն՝

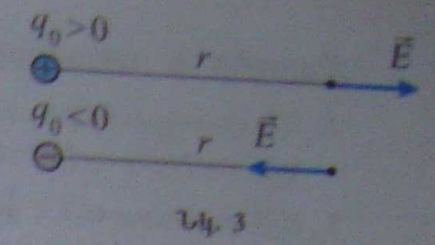
$$F=k\frac{|q_0||q|}{r^2},$$

որտեղ r-ը q_0 և q լիցքերի հեռավորությունն է, ուստի լարվածության վեկտորի E մոդուլի համար կստանանք՝

$$\boxed{E=\frac{F}{|q|}=k\frac{|q_0|}{r^2}}\ : \qquad (1.12)$$

Այսպիսով, q_0 կետային լիցքի դաշտի լարվածության մոդուլը որևէ կետում հակադարձ համեմատական է այդ լիցքից դիտարկվող կետի հեռավորության քառակուսուն: Ինչ վերաբերում է լարվածության ուղղությանը, ապա այն տարածության կանկացած կետում ուղղված է այդ կետն ու q_0 լիցքը միացնող ուղղի երկայնքով, ընդ որում, եթե լիցքը դրական է ($q_0>0$), ապա լարվածության վեկտորն ուղղված է լիցքից դեպի դուրս, իսկ եթե լիցքը բացասական է ($q_0<0$), ապա այն ուղղված է դեպի լիցքը (նկ.3):

(1.12) բանաձևից հետևում է, որ $r=0$ կետում դաշտի լարվածությունը որոշված չէ. կետային լիցքին մոտենալիս նրա ստեղծած դաշտի լարվածությունն անվերջ մեծանում է: (1.12) բանաձևից հետևում է նաև, որ կետային լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտը տեսականորեն տարածվում է մինչև տարածության անվերջ հեռու կետերը: Իրոք, որքան էլ մեծ արժեք ընդունի r-ը, դաշտի լարվածությունը կունենա թեև շատ փոքր, սակայն զրոյից տարբեր որոշակի արժեք: Բայց գործնականում, կախված q_0 լիցքի մեծությունից և փորձի չափման ճշտությունից, բավականին մեծ հեռավորությունից սկսած՝ դաշտի լարվածությունը գործնականում կարելի է ընդունել հավասար զրոյի:



Նկ. 3

(1.12) բանաձևը կարելի է կիրառել ոչ միայն կետային լիցքերի, այլև համաչափորեն լիցքավորված գնդի կամ գնդոլորտի ստեղծած էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը գնդի (գնդոլորտի) վրա կամ նրանից դուրս գտնվող կետերում հաշվարկելու համար: Իրոք, քանի որ Կուլոնի օրենքը կիրառելի է նաև գնդի (գնդոլորտի) և կետային լիցքի փոխազդեցության ուժը հաշվարկելու համար, ապա, կրկնելով վերը բերված դատողությունները, կստանանք նույն բանաձևը: Այս դեպքում r-ը գնդի (գնդոլորտի) կենտրոնի և նրանից դուրս գտնվող այն կետի հեռավորությունն է, որտեղ որոշվում է դաշտը:

Դաշտերի վերադրման սկզբունքը: Ինչպե՞ս հաշվել էլեկտրական դաշտի լարվածությունն այն դեպքում, երբ դաշտը ստեղծվում է ոչ թե մեկ, այլ մի քանի լիցքի կողմից: Փորձը ցույց է տալիս, որ այդ դեպքում տարածության կամայական կետում տեղադրված q լիցքի վրա ազդող համազոր ուժը հավասար է առանձին լիցքերի կողմից այդ լիցքի վրա ազդող ուժերի վեկտորական գումարին՝

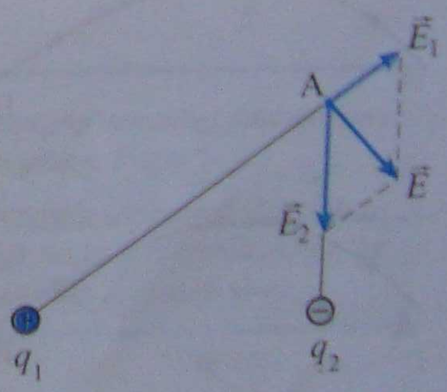
$$\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\cdots+\vec{F}_n: \qquad (1.13)$$

Բաժանելով այս հավասարման բոլոր անդամները q-ի վրա և հաշվի առնելով (1.10) բանաձևը, կստանանք՝

$$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\cdots+\vec{E}_n \ : \qquad (1.14)$$

Տարածության տվյալ կետում լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունարար դաշտի լարվածությունը հավասար է այդ կետում առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտերի լարվածությունների վեկտորական գումարին:

Այս պնդումն անվանում են ***դաշտերի վերադրման սկզբունք:*** Վերադրման սկզբունքը երկու կետային լիցքերի համար լուսաբանված է նկ.4-ում: Արդյունարար դաշտի $\vec{E}$ լարվածությունը A կետում հավասար է q_1 և q_2 կետային լիցքերի ստեղծած դաշտերի $\vec{E}_1$ և $\vec{E}_2$ լարվածությունների վեկտորական գումարին՝ $\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2$:



Նկ. 4

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում էլեկտրական դաշտի լարվածություն:*
2. *Ո՞ր ուղղությունն է ընդունված որպես էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորի ուղղություն:*
3. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը միավորների ՄՀ-ում:*
4. *Էլեկտրական դաշտի լարվածության միավորն արտահայտե՛ք ՄՀ-ի հիմնական միավորներով:*
5. *Գրե՛ք կետային լիցքի էլեկտրական դաշտի լարվածության բանաձևը:*
6. *Ինչպե՞ս է ուղղված q_0 կետային լիցքի էլեկտրական դաշտի լարվածությունը տարածության տվյալ կետում, եթե՝ ա) $q_0 > 0$, բ) $q_0 < 0$:*
7. *Գրե՛ք $\vec{E}$ լարվածությամբ էլեկտրական դաշտի կողմից q լիցքի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժի բանաձևը:*
8. *Ձևակերպե՛ք էլեկտրական դաշտերի վերադրման սկզբունքը:*

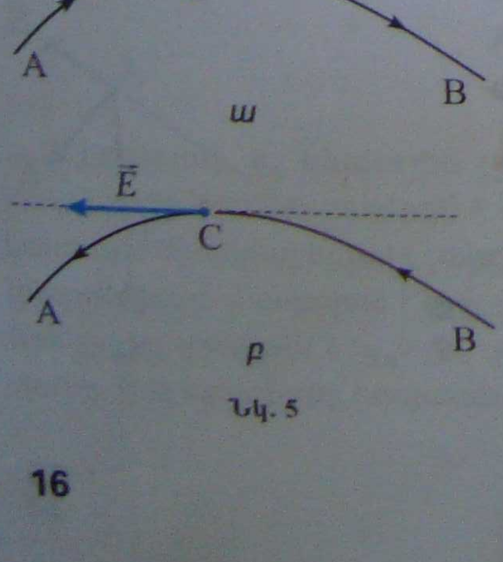
§ 6. Էլեկտրական դաշտի ուժագծեր

Էլեկտրական դաշտի մասին մենք լրիվ պատկերացում կունենանք, երբ մեզ հայտնի լինեն դաշտի լարվածության վեկտորի մոդուլը և ուղղությունը տարածության յանկացած կետում: Դա կարելի է անել վերլուծական եղանակով՝ տալով դաշտի լարվածության բանաձևը:

Ֆարադեյն առաջարկեց էլեկտրական դաշտի ներկայացման մեկ այլ՝ գրաֆիկական եղանակ: Նա դաշտը պատկերեց, այսպես կոչված, ուժագծերի օգնությամբ: ***Ուժագծեր կոչվում են այն անընդհատ գծերը, որոնց յանկացած կետում դաշտի լարվածության վեկտորն ուղղված է այդ կետով տարված շոշափողով:*** Այդ գծերն անվանում են նաև ***լարվածության գծեր:***

Եթե, օրինակ, AB գիծն էլեկտրական դաշտի որևէ ուժագիծ է, ապա դաշտի կամայական C կետում էլեկտրական դաշտի լարվածության $\vec{E}$ վեկտորն ուղղված է այդ կետում AB կորին տարված շոշափողով (նկ.5, ա, բ):

Շոշափողով որոշվող երկու հակադիր ուղղություններից որպես լարվածության $\vec{E}$ վեկտորի ուղղություն ընտրվում է այն ուղղությունը, որը համընկնում է այդ կետում տեղադրված դրական լիցքի վրա ազդող ուժի ուղղությանը:



Նկ. 5

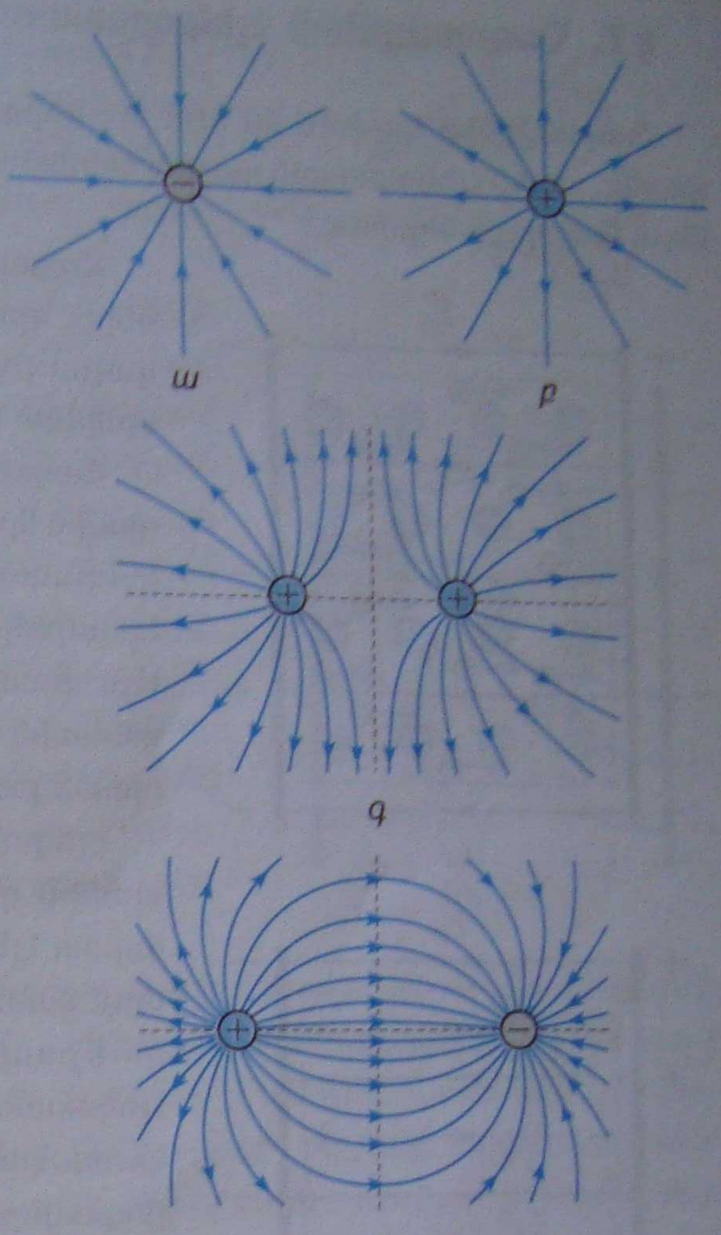
Էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծերը փակ գծեր չեն. դրանք սկսվում են դրական լիցքերից (կամ անվերջությունից) և վերջանում են բացասական լիցքերի վրա (կամ անվերջությունում): Նկ.6-ում և նկ. 7-ում պատկերված են կետային դրական և բացասական առանձին լիցքերի (ա, բ), երկու նույնանուն լիցքերի (գ), երկու տարանուն լիցքերի (դ) և տարանուն լիցքերով լիցքավորված երկու հարթ թիթեղների ստեղծած էլեկտրաստատիկ դաշտերի ուժագծերը:

Լարվածության վեկտորը տարածության տվյալ կետում ունի որոշակի ուղղություն (բացառությամբ այն կետերի, որտեղ լարվածությունը հավասար է զրոյի),

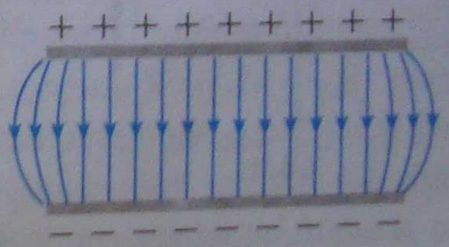
ուստի այդ կետով կարող է անցնել միայն մեկ ուժագիծ: Այստեղից հետևում է, որ ուժագծերը չեն հատվում. դրանք միայն զուգամիտում են լիցքերի վրա:

Ուժագծերը պատկերացում են տալիս տարբեր կետերում լարվածության վեկտորի ոչ միայն ուղղության, այլև մոդուլի մասին: Տարածության այն տիրույթներում, որտեղ ուժագծերն ավելի խիտ են պատկերված, դաշտի լարվածությունն ավելի մեծ է: Դաշտի լարվածության $\vec{E}$ վեկտորի մոդուլը համեմատական է տվյալ կետում $\vec{E}$-ին ուղղահայաց միավոր մակերեսով անցնող ուժագծերի թվին՝ այսինքն՝ ուժագծերի խտությանը: Օրինակ՝ նկ. 6-ից հետևում է, որ դաշտի լարվածությունը լիցքերի մոտակայքում ավելի մեծ է, քանի որ այդտեղ ուժագծերն ավելի խիտ են: Իսկ նկ. 7-ում թիթեղների միջև, եզրերից բավականաչափ հեռու տիրույթում ուժագծերի խտությունը նույնն է, հետևաբար՝ դաշտի լարվածությունը այդ տիրույթի բոլոր կետերում նույնն է, այսինքն՝ դաշտը համասեռ է:

Պետք է հիշել, որ ուժագծերով դաշտի պատկերումը միայն հարմար միջոց է: Ուժագծեր իրականում գոյություն չունեն (ինչպես, ի դեպ, ենթադրում էր Ֆարադեյը): Իրական է միայն էլեկտրական դաշտը, իսկ ուժագծերը պարզապես այն պատկերելու ակնառու միջոց են:



Նկ. 6



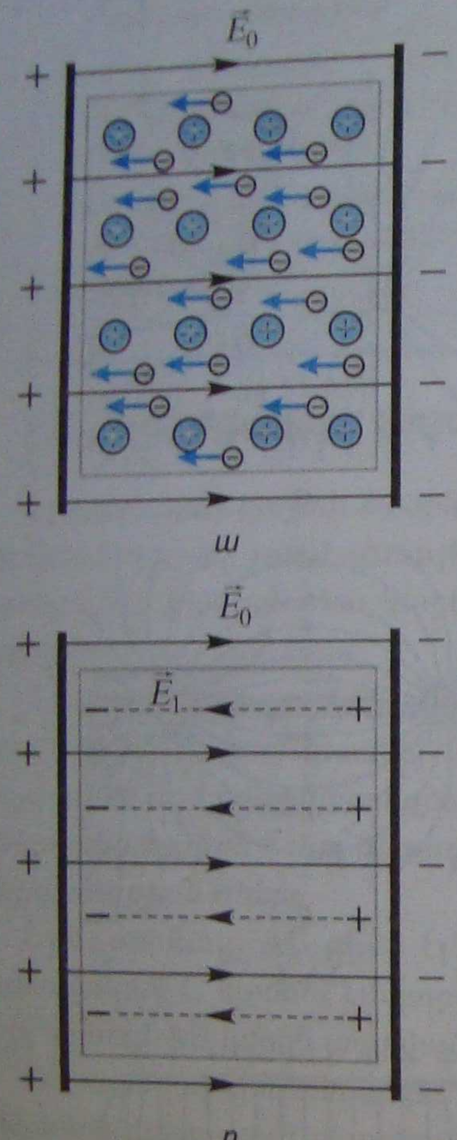
Նկ. 7

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք էլեկտրական դաշտի ուժագծերի սահմանումը:*
2. *Պատկերե՛ք համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծերը:*
3. *Կարո՞ղ են արդյոք հատվել էլեկտրական դաշտի ուժագծերը: Ինչու՞:*
4. *Էլեկտրաստատիկ դաշտում լիցքավորված մասնիկի շարժման հետագիծը ե՞րբ կհամընկնի դաշտի ուժագծի հետ:*

§ 7. Հաղորդիչներն էլեկտրաստատիկ դաշտում

Հաղորդիչներ կոչվում են այն նյութերը, որոնցում կան ***ազատ լիցքեր,*** այսինքն՝ լիցքեր, որոնք էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ ընդունակ են կարգավորված շարժվելու հաղորդչի ներսում:



ա

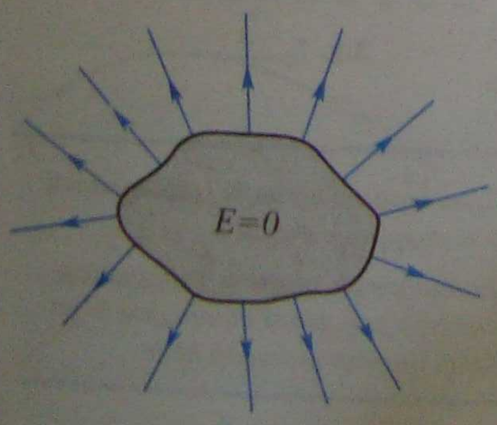
բ

Նկ. 8

Հաղորդիչների դասին են պատկանում մետաղները, որոնցում որպես ազատ լիցքեր հանդես են գալիս բյուրեղային ցանցը կազմող ատոմներից պոկված և ընդհանրացված էլեկտրոնները:

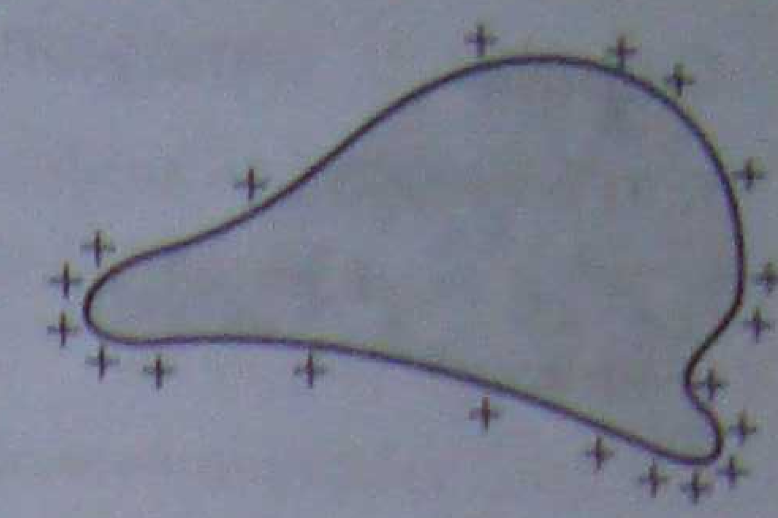
Հաղորդիչն էլեկտրաստատիկ դաշտում տեղադրելիս նրանում դաշտի լարվածությունը դառնում է հավասար զրոյի, ինչը հետևանք է հաղորդչում հսկայական թվով ազատ լիցքերի առկայության: Այս փաստը պարզաբանենք համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում տեղադրված մետաղե հաղորդչի օրինակով (նկ.8):

Էլեկտրաստատիկ դաշտ մտցնելու սկզբնական պահին դաշտի ազդեցությամբ մետաղում առկա ազատ էլեկտրոնները սկսում են ուղղորդված շարժում կատարել դաշտի ուժագծերին հակադիր ուղղությամբ: Նկ.8,ա-ում պատկերված դեպքում էլեկտրոնները, շարժվելով աջից ձախ ուղղությամբ, կուտակվում են հաղորդչի ձախ մակերևույթին՝ այն լիցքավորելով բացասական լիցքով: Հաղորդչի աջ մակերևույթին առաջանում է էլեկտրոնների պակասորդ, այսինքն՝ այն լիցքավորվում է դրական լիցքով: Հաղորդչում արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությամբ լիցքերի վերաբաշխման երևույթը կոչվում է ***էլեկտրաստատիկ մակածում,*** իսկ հաղորդչի տարբեր մասերում կուտակված լիցքերը կոչվում են ***մակածված լիցքեր:*** Մակածված լիցքերը հաղորդչի ներսում ստեղծում են լրացուցիչ դաշտ, որի լարվածության $\vec{E}_l$ վեկտորը հակադիր է արտաքին դաշտի լարվածության $\vec{E}_0$ վեկտորին (նկ.8,բ): Էլեկտրոնների ուղղորդված շարժումը շարունակվում է այնքան ժամանակ, մինչև որ մակածված լիցքերի ստեղծած լրացուցիչ դաշտը համակշռում է արտաքին դաշտը, և արդյունարար դաշտի լարվածությունը դառնում է հավասար զրոյի՝ $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_l = 0$: Դրանից հետո լիցքերի ուղղորդված շարժումը դադարում է: Նկարագրված պրոցեսը տեղի է ունենում չափազանց կարճ՝ 10^{-14} վ-ի կարգի

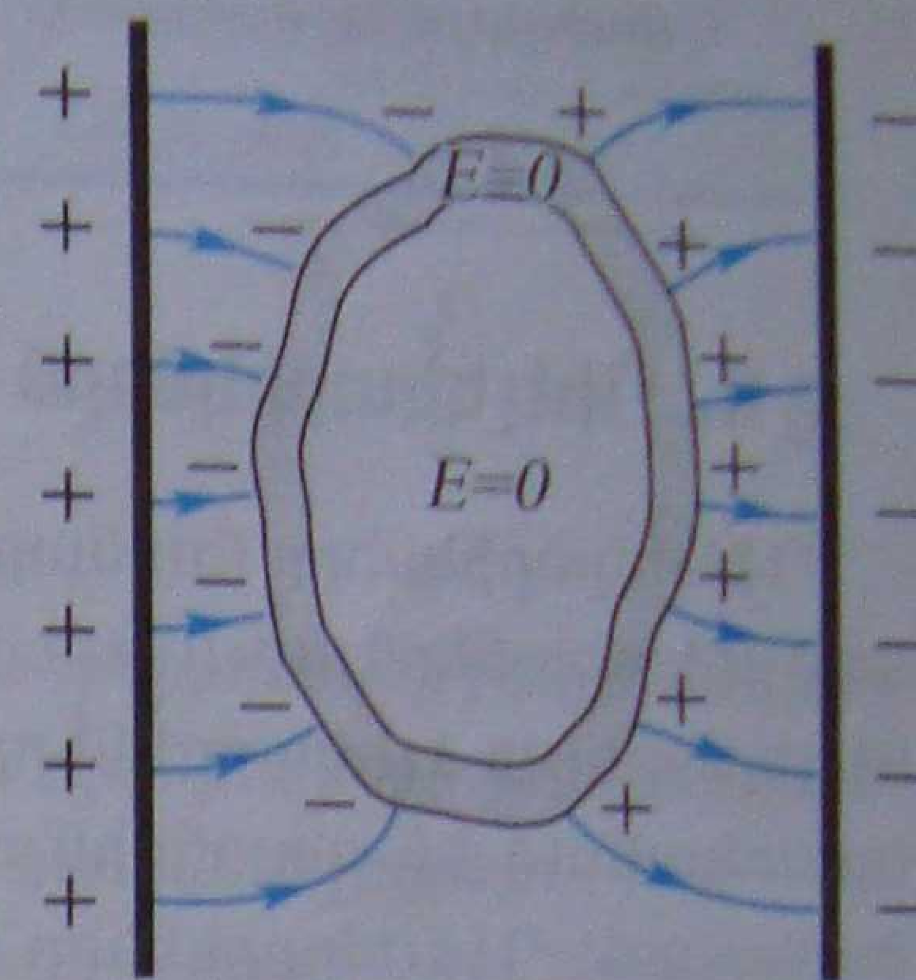


Նկ. 9

ժամանակամիջոցում: *Այսպիսով՝ ազատ լիցքերի հավասարակշռության դեպքում հաղորդչի ներսում էլեկտրաստատիկ դաշտը բացակայում է:* Այս պնդումը ճիշտ է ինչպես չլիցքավորված, այնպես էլ լիցքավորված հաղորդչի համար:



Նկ. 10



Նկ. 11

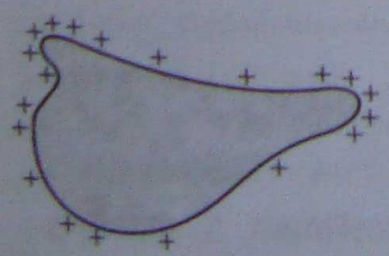
Իսկ ինչպիսի՞ն է դաշտը լիցքավորված հաղորդչի մակերևույթին: Էներգիայի պահպանման օրենքը թույլ է տալիս պնդել, որ *հաղորդչի մակերևույթի ցանկացած կետում էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության վեկտորն ուղղահայաց է մակերևույթին* (նկ.9): Իրոք, եթե այդպես չլիներ, ապա դաշտի լարվածության վեկտորը կունենար մակերևույթի երկայնքով ուղղված բաղադրիչ, որի ազդեցությամբ ազատ լիցքերը կկատարեին ուղղորդված շարժում՝ ստեղծելով հոսանք հաղորդչի մակերևույթով և հաղորդչում անընդհատ անջատելով ջերմաքանակ (տե՛ս § 27): Նկարագրված պրոցեսը հակասում է էներգիայի պահպանման օրենքին, ուստի այն տեղի ունենալ չի կարող:

Փորձը ցույց է տալիս որ հաղորդչի ներսում զրոյի է հավասար ոչ միայն դաշտի լարվածությունը, այլև լիցքը: Այսպիսով՝ *հաղորդչին հաղորդված լիցքը կարող է կուտակվել միայն նրա մակերևույթին*: Եթե հաղորդիչը գունդ է, ապա համաչափությունից հետևում է, որ գնդի մակերևույթի վրա լիցքը պետք է բաշխվի հավասարաչափ: Իսկ եթե հաղորդիչն ունի անկանոն տեսք, ապա փորձը ցույց է տալիս, որ լիցքն ավելի խիտ կուտակվում է մակերևույթի ուռուցիկ տեղամասերում, հատկապես սայրերին (նկ.10):

Էլեկտրաստատիկ դաշտում տեղադրված հոծ հաղորդչից հեռացնենք նրա միջուկը (նկ.11): Քանի որ միջուկը լիցք չունի (հաղորդչի ներսում լիցքը հավասար է զրոյի), ապա այն հեռացնելը չի փոխի ո՛չ էլեկտրական դաշտի և ո՛չ էլ լիցքի բաշխումը հաղորդչի մնացած մասում: Հետևաբար, ինչպես հոծ հաղորդչի դեպքում, լիցքը կբաշխվի միայն նրա արտաքին մակերևույթին, ներքին մակերևույթին լիցքեր չեն լինի, իսկ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը ինչպես խոռոչի պատերին, այնպես էլ խոռոչի ներսում դարձյալ հավասար կլինի զրոյի:

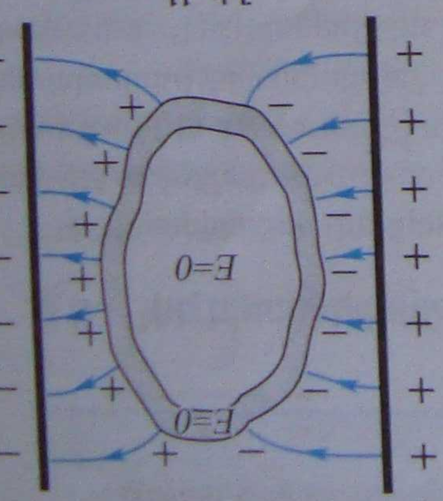
Ասվածից հետևում է, որ եթե որևէ մարմին շրջափակենք հաղորդիչ պատյանով, ապա արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտը մարմնի վրա ոչ մի ազդեցություն չի կարող ունենալ. այն չի կարող թափանցել պատյանից ներս: Դա է պատճառը, որ էլեկտրական զգայուն սարքերը միշտ տեղադրում են մետաղե պատյանի մեջ: ***Էլեկտրաստատիկ պաշտպանություն*** կոչված այս երևույթը շատ հետաքրքիր փորձով ցուցադրել է անգլիացի Ֆարադեյը: Նա փայտե ձողերով մեծ վանդակը բոլոր կողմերից պատել է անագի բարակ թիթեղներով, մեկուսացրել գետնից, ուժեղ լիցքավորել և շատ զգայուն էլեկտրացույցով մտել վանդակ: Վանդակի արտաքին մակերևույթին լիցքն այնքան մեծ էր, որ որևէ մետաղե իր մոտեցնելիս կայծեր էին թռչում, սակայն վանդակի ներսում Ֆարադեյն էլեկտրական դաշտ չհայտնաբերեց:

Էլեկտրոստատիկական դաշտում հաղորդիչ մարմնի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը զրո է, մարմնի մակերևույթի յուրաքանչյուր կետում լարվածությունը ուղղահայաց է մակերևույթին, իսկ հաղորդիչ մարմնի ծավալում լիցքերը բացակայում են (նկ.10):



Նկ. 10

Էլեկտրական դաշտում գտնվող հաղորդիչ մարմնի մակերևույթը էկվիպոտենցիալ մակերևույթ է (նկ.11): Հետևում է նրանից, որ եթե մարմնի մակերևույթի տարբեր կետերի միջև պոտենցիալների տարբերություն լիներ, ապա լիցքերը կշարժվեին մինչև հավասարակշռության հաստատվելը, այսինքն՝ մինչև մակերևույթի բոլոր կետերում պոտենցիալների հավասարվելը: Հետևաբար, հաղորդիչ մարմնի ծավալում և մակերևույթին գտնվող լիցքերի էլեկտրական դաշտերի լարվածությունների գումարը զրո է:



Նկ. 11

Հաղորդիչ մարմնի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը զրո է: Այս պնդումը կարելի է ապացուցել՝ հակառակը ենթադրելով: Ենթադրենք, որ դիտարկվող հաղորդիչ մարմնի ներսում գոյություն ունի էլեկտրական դաշտ, որի լարվածությունը զրո չէ: Այդ դեպքում հաղորդիչ մարմնի ներսում գտնվող լիցքավորված մասնիկների վրա կազդի էլեկտրական դաշտի կողմից ուժ, որի ազդեցությամբ լիցքերը կսկսեն շարժվել: Սակայն հաղորդիչ մարմնի ներսում լիցքերի շարժումը հնարավոր չէ, քանի որ հակառակ դեպքում կխախտվեր էներգիայի պահպանման օրենքը: Ուրեմն՝ հաղորդիչ մարմնի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը զրո է:

Փորձը ցույց է տալիս որ հաղորդիչ մարմնի է հավասար ոչ մեծ դաշտ լարվածությունը, այլև լիցքը: Այսպիսով՝ ***հաղորդիչ մարմնի ներսում է՝ նրա մակերևույթին ուղղահայաց լիցքերի ստեղծած դաշտի լարվածությունը զրո է, իսկ մակերևույթի մոտ՝ դաշտի լարվածությունը հավասար է***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում հաղորդիչներ:*
2. *Ո՞րն է էլեկտրաստատիկ մակածման երևույթի էությունը:*
3. *Ինչու՞ էլեկտրաստատիկ դաշտում տեղադրված հաղորդչի ներսում դաշտի լարվածությունը հավասար է զրոյի:*
4. *Ինչպե՞ս է ուղղված էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորը հաղորդչի մակերևույթին:*
5. *Ինչպե՞ս է բաշխվում հաղորդչին հաղորդված լիցքը:*
6. *Ի՞նչ է էլեկտրաստատիկ պաշտպանությունը:*

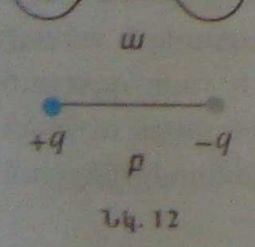
§ 8. Դիէլեկտրիկներն էլեկտրաստատիկ դաշտում

Դիէլեկտրիկները (հունարեն «դիա»՝ միջով և «էլեկտրիկ»՝ էլեկտրական բառերից) կամ մեկուսիչներն այն նյութերն են, որոնք ազատ լիցքեր չեն պարունակում: Դիէլեկտրիկներում բոլոր էլեկտրոնները կապված են ատոմների միջուկների հետ, այսինքն՝ պատկանում են առանձին ատոմների և չեն կարող ազատ տեղափոխվել մարմնի ծավալում: Դիէլեկտրիկներ են մի շարք պինդ մարմիններ (ապակի, հախճապակի, սաթ, մարմար, քվարց և այլն), որոշ հեղուկներ (օրինակ՝ թորած ջուրը) և բոլոր գազերը:

Դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու դասի՝ ***բևեռային*** և ***ոչ բևեռային***: Բևեռային դիէլեկտրիկների մոլեկուլներում դրական և բացասական լիցքերի բաշխման կենտրոններն իրար նկատմամբ շեղված են: Նկ.12,ա-ում պատկերված է կերակրի աղի ($NaCl$) մոլեկուլի մոտավոր տեսքը:

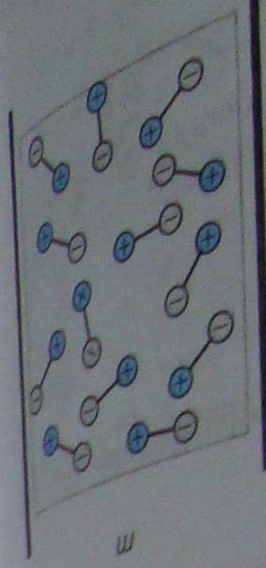
Այդպիսի մոլեկուլները կարելի է դիտարկել որպես որոշակի հաստատուն հեռավորության վրա գտնվող և մոդուլով հավասար երկու տարաանուն կետային լիցքերից կազմված համակարգ (նկ. 12,բ): Էլեկտրականապես չեզոք նման համակարգը կոչվում է ***էլեկտրական երկբևեռ (դիպոլ)***: Բևեռային դիէլեկտրիկներ են՝ ջուրը, ամոնիակը, սպիրտները:

Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում բևեռային դիէլեկտրիկների մոլեկուլները ջերմային շարժման հետևանքով ժամանակի կանկացած պահի բաշխված են քաոսայնորեն, և նրանց ստեղծած էլեկտրական դաշտերը չեզոքացնում են միմյանց (նկ. 13,ա): Արտաքին էլեկտրական դաշտում տեղադրելիս բևեռային դիէլեկտրիկի յուրաքանչյուր երկբևեռի վրա դաշտի կողմից ազդում է պտտող ուժազույգ, որը ձգտում է երկբևեռը շրջել այնպես, որ նրա առանցքն ուղղված լինի դաշտի ուժագծերին զուգահեռ (նկ.13,գ): Արտաքին դաշտի ազդեցությամբ երկբևեռների նման կողմնորոշումը կոչվում է դիէլեկտրիկի ***բևեռացում:***



Նկ. 12

Ջերմային շարժումը խոչընդոտում է երկբևեռների կարգավորված դասավորմանը, որի հետևանքով տեղի է ունենում երկբևեռների մասնակի կողմնորոշում: Որքան մեծ է արտաքին դաշտի լարվածությունը և որքան ցածր է դիէլեկտրիկի ջերմաստիճանը, այնքան մեծ թվով երկբևեռներ են կողմնորոշվում դաշտի լարվածության ուղղությամբ: Բևեռացման հետևանքով դիէլեկտրիկի հակադիր մակերևույթներին առաջանում են լիցքեր: Նկ.13,բ-ում պատկերված դեպքում դրականապես լիցքավորված թիթեղի մոտ

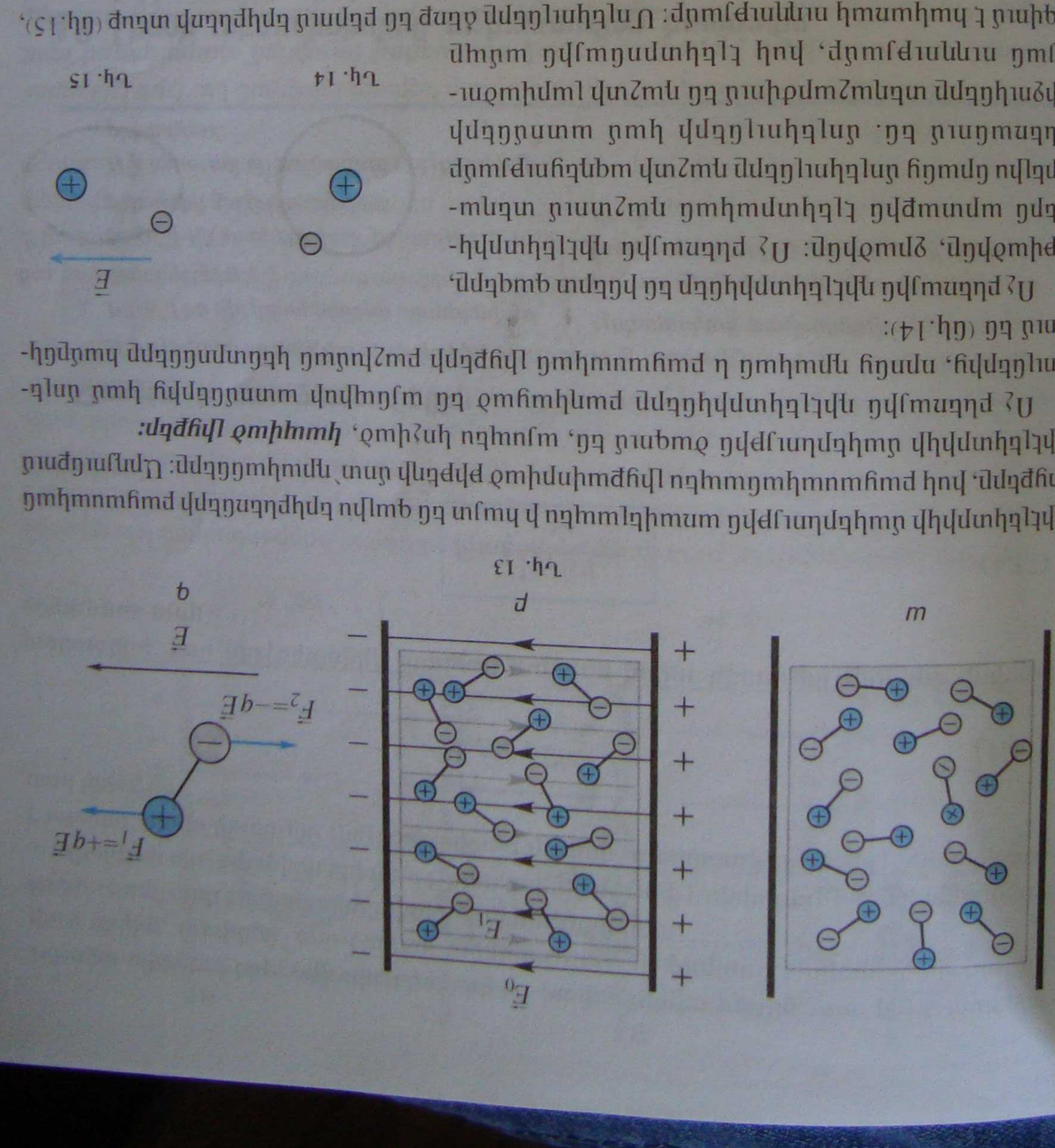

ա

Դիէլեկտրիկ դաշտում գտնվող լիցքերի վրա ազդող էլեկտրական ուժերի ազդեցությամբ դրանք տեղաշարժվում են, և դիէլեկտրիկի ներսում առաջանում է էլեկտրական դաշտ, որի լարվածությունը $\bar{E}$ է: Այդ դաշտը ստեղծում է լիցքավորված մակերևույթների վրա գտնվող կապկապված լիցքերը: Կապկապված լիցքերի ստեղծած դաշտի լարվածությունը $\bar{E}_l$ է: Ուրեմն դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը $\bar{E}$ հավասար է արտաքին դաշտի լարվածության $\bar{E}_0$ և կապկապված լիցքերի ստեղծած $\bar{E}_l$ լարվածությունների գումարին (նկ.13, բ): Այդ պատճառով դիէլեկտրիկի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը փոքրանում է: Կրկնակի մոմացված կտավից կամ թուղթից պատրաստված կոնդենսատորի համար $E = E_0 - E_l$:

Այն ֆիզիկական մեծությունը, որը ցույց է տալիս, թե էլեկտրական դաշտի լարվածությունը քանի անգամ է փոքր արտաքին դաշտի լարվածությունից՝ դիէլեկտրիկի բաժիններում, կոչվում է դիէլեկտրական թափանցելիություն:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{E_0}{E}}; \qquad (1.15)$$

Դիէլեկտրական թափանցելիությունը, կախված նյութի տեսակից, կարող է ընդունել $\varepsilon = 81$, իսկ օդի համար $\varepsilon = 1,0006$: Եվ գրեթե մրգեղեն, օրգեսկ՝ բոլոր ջրի համար ջրի



Նկ. 13

Դիէլեկտրիկի ներսում առաջացած էլեկտրական դաշտի լարվածությունը կարելի է արտահայտել նաև դիէլեկտրիկի մակերևույթների վրա գտնվող կապկապված լիցքերի մակերևութային խտությամբ: Դրա համար դիտարկենք հարթ կոնդենսատորի ներսում գտնվող դիէլեկտրիկ (նկ.14): Դիէլեկտրիկի մակերևույթների վրա գտնվող կապկապված լիցքերի մակերևութային խտությունը σ' է: Դիէլեկտրիկի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը E է: Դիէլեկտրիկի ներսում ստեղծված էլեկտրական դաշտի լարվածությունը E_l է: Ուրեմն $E = E_0 - E_l$:

Նկ. 14 Նկ. 15

Ինչպես տեսնում ենք, օդի դիէլեկտրական թափանցելիությունը շատ քիչ է տարբերվում մեկից, այսինքն՝ օդն էական ազդեցություն չի թողնում էլեկտրական դաշտի, հետևաբար՝ նաև էլեկտրական փոխազդեցության վրա:

Քանի որ դիէլեկտրիկի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը փոքրանում է ε անգամ, ապա կետային լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությունը դիէլեկտրիկի ներսում կորոշվի

$$E = k\frac{|q_0|}{\varepsilon r^2} \qquad (1.16)$$

բանաձևով, իսկ դիէլեկտրիկի ներսում գտնվող երկու կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժը՝

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2} \qquad (1.17)$$

բանաձևով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում դիէլեկտրիկներ:*
2. *Ինչո՞վ են դիէլեկտրիկները տարբերվում մետաղներից:*
3. *Ինչո՞վ են տարբերվում բևեռային և ոչ բևեռային դիէլեկտրիկները:*
4. *Ո՞ր երևույթն են անվանում դիէլեկտրիկի բևեռացում:*
5. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում դիէլեկտրական թափանցելիություն:*
6. *Ինչու՞ դիէլեկտրիկի ներսում էլեկտրական դաշտն ավելի թույլ է, քան վակուումում:*

§ 9. Լիցքի տեղափոխման աշխատանքը համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում

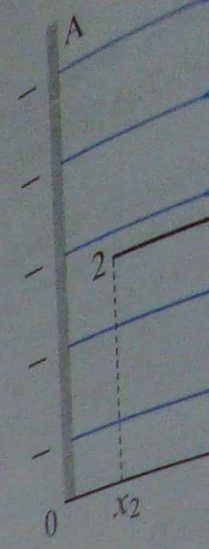
Լիցքավորված մարմինն էլեկտրաստատիկ դաշտում տեղափոխելիս դաշտի կողմից նրա վրա ազդող ուժը որոշակի աշխատանք է կատարում: Այդ աշխատանքն ավելի հեշտ է հաշվել այն դեպքում, երբ էլեկտրաստատիկ դաշտը համասեռ է, քանի որ համասեռ դաշտում լիցքի վրա ազդող ուժը հաստատուն մեծություն է:

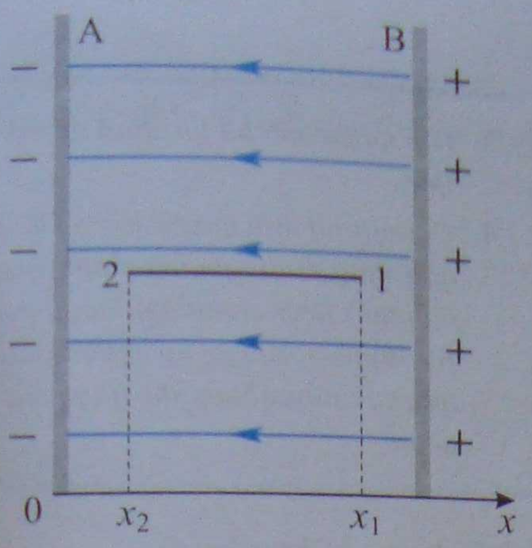
Ենթադրենք՝ q կետային լիցքը երկու՝ տարաձուն լիցքերով լիցքավորված A և B թիթեղների ստեղծած համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում 1 կետից տեղափոխվում է 2 կետը դաշտի ուժագծերի երկայնքով (նկ.16): Հաշվարկի սկզբնակետը տեղադրենք բացասական թիթեղի վրա: Լիցքի վրա դաշտը կազդի $\vec{F} = q\vec{E}$ ուժով, որտեղ $\vec{E}$-ն դաշտի լարվածությունն է: Այդ ուժը $S = x_1 - x_2$ տեղափոխության վրա կկատարի

$$A = qE(x_1 - x_2) \qquad (1.18)$$

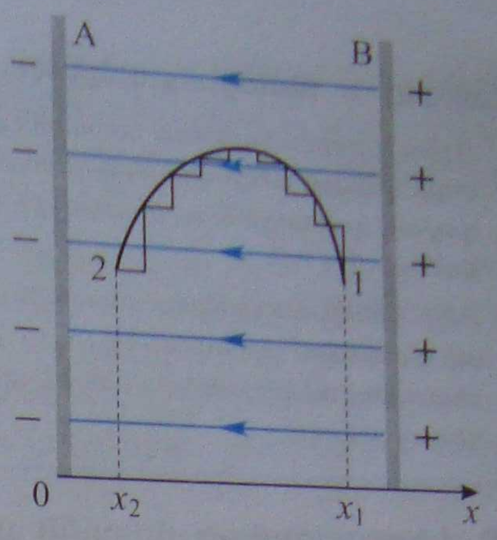
աշխատանք:

Այժմ հաշվենք կատարված աշխատանքն այն դեպքում, երբ q կետային լիցքը 1 կետից տեղափոխվում է 2 կետը ոչ թե ուղիղ գծով, այլ կամայական կոր գծով (նկ.17):





Նկ. 16



Նկ. 17

Այդ կորը փոխարինենք շատ փոքր երկարություններով հորիզոնական և ուղղաձիգ տեղամասեր ունեցող աստիճանաձև բեկյալ գծով: Հետագծի ուղղաձիգ տեղամասերում դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար կլինի զրոյի, քանի որ այդ տեղամասերում դաշտի կողմից լիցքի վրա ազդող ուժն ուղղահայաց է տեղափոխությանը: Հետևաբար, դաշտն աշխատանք կկատարի միայն հետագծի հորիզոնական տեղամասերում: Վերջինս դարձյալ կորոշվի (1.18) բանաձևով, քանի որ հորիզոնական տեղամասերի երկարությունների գումարը $x_1 - x_2$ է:

Այսպիսով՝ ***լիցքի տեղափոխման ժամանակ էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը կախված չէ հետագծի ձևից,*** այլ որոշվում է միայն լիցքի սկզբնական և վերջնական դիրքերով (կոորդինատներով): Տրված սկզբնական և վերջնական դիրքերի համար, ինչ հետագծով էլ որ շարժվի լիցքը, էլեկտրաստատիկ դաշտը կկատարի միևնույն աշխատանքը:

(1.18) բանաձևից մենք հանգում ենք մի կարևոր եզրակացության ևս: ***Եթե էլեկտրաստատիկ դաշտում լիցքը շարժվում է փակ հետագծով (այսինքն՝ դուրս գալով որևէ կետից, նորից վերադառնում է այդ կետը), ապա դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է զրոյի:*** Իրոք, (1.18) բանաձևում տեղադրելով $x_1 = x_2$, ստանում ենք՝ $A = 0$:

Վերևում նշված պնդումները ճիշտ են ոչ միայն համասեռ, այլև կամայական էլեկտրաստատիկ դաշտի համար: Այդ դեպքում լիցքի տեղափոխման ժամանակ էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը հաշվելու համար հետագիծը պետք է բաժանել բավականաչափ փոքր տեղամասերի (այնքան փոքր, որ տվյալ տեղամասում ազդող ուժը հնարավոր լինի համարել հաստատուն), յուրաքանչյուր տեղամասում հաշվել աշխատանքը և ստացված արդյունքները գումարել:

Այն դաշտերը, որոնց կատարած աշխատանքը կախված չէ մասնիկի շարժման հետագծի ձևից, կամ, որ նույնն է, ցանկացած փակ հետագծով հավասար է զրոյի, կոչվում են պոտենցիալային դաշտեր:

Էլեկտրաստատիկ դաշտն օժտված է նշված հատկությամբ, հետևաբար՝ այն պոտենցիալային դաշտ է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք E լարվածությամբ համասեռ դաշտում q լիցքի տեղափոխման ժամանակ դաշտի կատարած աշխատանքի բանաձևը:*
2. *Ինչի՞ է հավասար էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը լիցքը փակ հետագծով տեղափոխելիս՝ մինչև ելակետ վերադառնալը:*
3. *Ո՞ր դաշտերն են կոչվում պոտենցիալային:*
4. *Օգտվելով այն փաստից, որ փակ հետագծի վրա էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է զրոյի, ապացուցե՛ք, որ էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծերը չեն կարող լինել փակ գծեր:*

§ 10. Լիցքավորված մարմնի պոտենցիալ էներգիան էլեկտրաստատիկ դաշտում

Մեխանիկայից հայտնի է, որ մարմինների փոխազդեցությամբ պայմանավորված էներգիան կոչվում է պոտենցիալ էներգիա: Պոտենցիալ էներգիան, ի տարբերություն կինետիկ էներգիայի, կախված է միայն փոխազդող մարմինների փոխադարձ դիրքից: Քանի որ էլեկտրաստատիկ դաշտում գտնվող լիցքավորված մարմինը փոխազդում է դաշտն ստեղծող լիցքերի հետ, ապա այն ևս օժտված է պոտենցիալ էներգիայով : Իսկ ինչպե՞ս հաշվել այդ էներգիան:

Մեխանիկայի դասընթացում ցույց տրվեց, որ գրավիտացիոն դաշտը պոտենցիալային դաշտ է, այսինքն՝ գրավիտացիոն ուժերի կատարած աշխատանքը կախված չէ մարմնի շարժման հետագծի ձևից: Այս հանգամանքը թույլ տվեց ներմուծել գրավիտացիոն դաշտում գտնվող մարմնի պոտենցիալ էներգիայի արտահայտությունը, և գրավիտացիոն ուժերի կատարած աշխատանքը ներկայացնել որպես պոտենցիալ էներգիայի փոփոխություն՝ վերցրած հակառակ նշանով՝

$$A = -(W_2 - W_1) = -\Delta W : \qquad (1.19)$$

Էլեկտրաստատիկ դաշտը նույնպես պոտենցիալային դաշտ է, և էլեկտրաստատիկ ուժերի կատարած աշխատանքը ևս կարելի է ներկայացնել պոտենցիալ էներգիայի փոփոխության տեսքով: Իրոք, (1.18) բանաձևից հետևում է, որ

$$A = -(qEx_2 - qEx_1) = -(W_2 - W_1) = -\Delta W : \qquad (1.20)$$

Այստեղ

$$\boxed{W = qEx} \qquad (1.21)$$

մեծությունը համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում գտնվող q լիցքի պոտենցիալ էներգիան է հաշվարկի սկզբնակետից ուժագծերի ուղղությամբ x հեռավորության վրա գտնվող կետում:

Նշենք, որ լիցքի պոտենցիալ էներգիան որոշվում է (1.21) բանաձևով միայն համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում, այնինչ (1.19) բանաձևը ճիշտ է կամայական էլեկտրաստատիկ դաշտի դեպքում:

Եթե էլեկտրաստատիկ դաշտը կատարում է դրական աշխատանք, ապա (1.19) բանաձևից հետևում է, որ պոտենցիալ էներգիայի փոփոխությունը բացասական է՝ $\Delta W < 0$, այսինքն՝ լիցքի պոտենցիալ էներգիան նվազում է: Էներգիայի պահպանման

§ 11. Էլեկտրաստատիկ դաշտի աշխատանքը տեղափոխելիս

Հաշտեր էլեկտրաստատիկ դաշտում նկարագրված լիցքի տեղափոխման աշխատանքը որոշելու համար նախ պարզենք, թե ինչպիսի է այդ աշխատանքը միատեսակ դաշտում, երբ $W = qEx$ բանաձևով հեշտությամբ կարելի է հաշվել: Դիտարկենք էլեկտրաստատիկ դաշտի ցանկացած կետեր: Նշանակենք W/q հարաբերությունը նույնպես անվանենք էլեկտրաստատիկ դաշտի այդ կետերի միջև: Պարզվում է, որ լիցքի էներգիայի փոփոխությունը տեղափոխման ճանապարհից կախված չէ, այլ կախված է միայն դաշտի այդ կետերում լիցքի մեծությունից:

Էլեկտրաստատիկ դաշտի լիցքավորված մարմինը լիցքի տեղափոխելիս կատարած աշխատանքը հավասար է մարմնի լիցքի և տեղափոխման սկզբնական ու վերջնական կետերի միջև եղած պոտենցիալների տարբերության արտադրյալին:

Էլեկտրաստատիկ դաշտում լիցքի տեղափոխման աշխատանքը հաշվելու այս եղանակը հնարավորություն է տալիս հեշտությամբ հաշվել նաև այնպիսի դաշտերում կատարված աշխատանքը, որոնցում ուժի մեծությունը տարբեր կետերում տարբեր է:

Դիցուք դաշտը, որտեղ էլեկտրական լիցքը տեղափոխվում է, ստեղծված է մի քանի կետային լիցքերի միասնական դաշտով: Ինչպես հայտնի է, այդպիսի դաշտում ուժերի գումարման կանոնի համաձայն լիցքի վրա ազդող ուժը հավասար է առանձին լիցքերի առաջացրած ուժերի վեկտորական գումարին: Ուրեմն, ինչպես որ էլեկտրական դաշտի ուժագծերի միջոցով պատկերվում է էլեկտրական դաշտը, նույնպես էլ էլեկտրաստատիկ դաշտում կատարված աշխատանքը կարելի է հաշվել առանձին լիցքերի առաջացրած դաշտերում կատարված աշխատանքների հանրահաշվական գումարի միջոցով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ի՞նչ էներգիայի է օժտված էլեկտրաստատիկ դաշտում գտնվող լիցքը:
2. Գրի՛ր տարբեր էլեկտրաստատիկ դաշտերում լիցքերի տեղափոխման աշխատանքների հաշվման բանաձևերը:
3. Կախվա՞ծ է արդյոք էլեկտրաստատիկ դաշտում աշխատանքը լիցքի հետագծի ձևից:
4. Երևույթների ո՞ր շրջանակում է հնարավոր օգտագործել էլեկտրաստատիկ դաշտում աշխատանքի վերաբերյալ ստացված բանաձևերը:

$$\varphi = \frac{W}{q} \quad (1.22)$$

Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը, ինչպես և լարվածությունը, դաշտը նկարագրող կարևոր մեծություն է: Լարվածությունը դաշտի ուժային բնութագիրն է. այն որոշում է տվյալ կետում գտնվող լիցքի վրա ազդող ուժը՝ $\vec{F} = q\vec{E}$: ***Պոտենցիալը դաշտի էներգիական բնութագիրն է***: Եթե հայտնի է դաշտի պոտենցիալը, ապա q կետային լիցքի պոտենցիալ էներգիան կարելի է որոշել (1.22) բանաձևով՝ $W = q\varphi$:

Ինչպես և պոտենցիալ էներգիան, պոտենցիալը ևս հարաբերական մեծություն է. նրա արժեքը տվյալ կետում կախված է հաշվարկման զրոյական մակարդակի ընտրությունից: Սակայն գործնական նշանակություն ունի ոչ թե պոտենցիալը, այլ պոտենցիալի փոփոխությունը, որը կախված չէ զրոյական մակարդակի ընտրությունից:

Եթե $A = -(W_2 - W_1)$ բանաձևում տեղադրենք պոտենցիալ էներգիայի $W_1 = q\varphi_1$ և $W_2 = q\varphi_2$ արտահայտությունները, ապա կստանանք՝

$$A = -(q\varphi_2 - q\varphi_1) = q(\varphi_1 - \varphi_2): \qquad (1.23)$$

Երկու կետերի պոտենցիալների $\varphi_1 - \varphi_2$ տարբերությունն անվանում են ***լարում*** և, սովորաբար, նշանակում են U տառով՝

$$U = \varphi_1 - \varphi_2: \qquad (1.24)$$

Օգտվելով այս նշանակումից՝ (1.23) բանաձևը կարող ենք ներկայացնել

$$\boxed{A = qU} \qquad (1.25)$$

տեսքով, այսինքն՝ լիցքն էլեկտրաստատիկ դաշտի մի կետից մյուսը տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է այդ կետերի միջև լարման և լիցքի արտադրյալին: (1.23) և (1.25) բանաձևերից հետևում է, որ

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}: \qquad (1.26)$$

Երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունը (լարումը) հավասար է այդ կետերի միջև լիցքը տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքի և այդ լիցքի հարաբերությանը:

Այժմ ստանանք պոտենցիալի և պոտենցիալների տարբերության (լարման) միավորը: Հասկանալի է, որ այդ երկու մեծություններն էլ պետք է արտահայտվեն միևնույն միավորով: Քանի որ միավորների ՄՀ-ում աշխատանքի միավորը՝ $[A] = 1$Ջ, իսկ լիցքի միավորը՝ $[q] = 1$Կլ, ապա (1.26) բանաձևից հետևում է, որ

$$[U] = \frac{[A]}{[q]} = \frac{1\ \text{Ջ}}{1\text{Կլ}} = 1\frac{\text{Ջ}}{\text{Կլ}}:$$

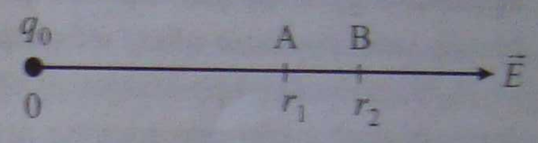
Այդ միավորն անվանում են 1 վոլտ (1Վ՝ ի պատիվ իտալացի ֆիզիկոս Վոլտայի): $1\text{Վ} = 1\text{Ջ}/\text{Կլ}$: ***1 Վ-ը այն երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունն է, որոնց միջև 1 Կլ լիցք տեղափոխելիս դաշտը կատարում է 1 Ջ աշխատանք:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք պոտենցիալի սահմանումը:*
2. *Գրե՛ք դաշտի երկու կետերի պոտենցիալների տարբերության և այդ կետերի միջև լիցքի տեղափոխման ժամանակ դաշտի կատարած աշխատանքի կապն արտահայտող բանաձևը:*
3. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում լարում:*
4. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում էլեկտրական դաշտի պոտենցիալների տարբերությունը միավորների ՄՀ-ում:*
5. *Լարման միավորն արտահայտե՛ք ՄՀ-ի հիմնական միավորներով:*

§ 12. Կետային լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը*

q_0 կետային լիցքի ստեղծած էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը որոշելու համար հաշվենք որևէ q լիցքի տեղափոխման ժամանակ այդ դաշտի կատարած աշխատանքը: Քանի որ էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը կախված չէ լիցքի շարժման հետագծի ձևից, ապա մաթեմատիկական դժվարություններից խուսափելու համար աշխատանքը հաշվենք պարզագույն մասնավոր դեպքում: Ենթադրենք՝ q լիցքը q_0 լիցքի ստեղծած էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծի ուղղությամբ A կետից տեղափոխվում է նրան շատ մոտ գտնվող B կետը (նկ.18):



Նկ. 18

A և B կետերի հեռավորությունները q_0 լիցքից նշանակենք համապատասխանաբար r_1-ով և r_2-ով: Քանի որ A և B կետերի $\Delta r = r_2 - r_1$ հեռավորությունը շատ փոքր է r_1-ից (կամ r_2-ից), ապա այդ միջակայքում q լիցքի վրա ազդող ուժը կարելի է համարել հաստատուն և նրա արժեքը որոշել այդ միջակայքին պատկանող որևէ կետի համար, որի հեռավորությունը q_0 լիցքից r է.

$$F = k\frac{q_0 q}{r^2}: \tag{1.27}$$

q լիցքն A կետից B կետ տեղափոխելիս էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը՝

$$A = F\Delta r = k\frac{qq_0}{r^2}(r_2 - r_1): \tag{1.28}$$

Քանի որ r_1-ը և r_2-ը շատ քիչ են տարբերվում իրարից, ապա (1.28) արտահայտության մեջ r^2-ն կարելի է փոխարինել $r_1 r_2$-ով: Այդ դեպքում՝

$$A = k\frac{q_0 q}{r_1 r_2}(r_2 - r_1) = q\left(k\frac{q_0}{r_1} - k\frac{q_0}{r_2}\right): \tag{1.29}$$

Համեմատելով այս արտահայտությունը աշխատանքի (1.23) բանաձևի հետ՝ q_0 կետային լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալի համար ստանում ենք

$$\boxed{\varphi = k\frac{q_0}{r}} \tag{1.30}$$

արտահայտությունը, որտեղ r-ը տվյալ կետի հեռավորությունն է q_0 լիցքից:

Ակներև է, որ եթե q_0 լիցքը դրական է, ապա տարածության բոլոր կետերում դրական է նաև նրա ստեղծած դաշտի պոտենցիալը: Եվ, հակառակը, եթե q_0 լիցքը բացասական է, ապա նրա պոտենցիալը ևս բացասական է:

(1.30) բանաձևից հետևում է, որ r-ը մեծացնելիս կետային լիցքի պոտենցիալը բացարձակ արժեքով փոքրանում է: Երբ $r \to \infty$, $\varphi \to 0$, այսինքն՝ անվերջ հեռու կետում պոտենցիալը հավասար է զրոյի: Այսպիսով, (1.30) բանաձևում որպես պոտենցիալի հաշվարկման զրոյական մակարդակ ընտրված են անվերջ հեռու կետերը: Եթե q լիցքը q_0 լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտում φ_1 պոտենցիալով կետից տեղափոխվում է անվերջ հեռու կետ, ապա կատարված աշխատանքը՝ $A = q(\varphi_1 - \varphi_\infty)$: Տեղադրելով $\varphi_\infty = 0$՝ կստանանք՝

$$\boxed{\varphi_1(r) = \frac{A}{q}} : \qquad (1.31)$$

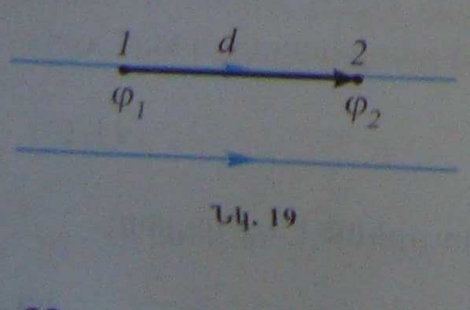
Հետևաբար, ***էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը թվապես հավասար է այն աշխատանքին, որը կատարում է դաշտը միավոր դրական լիցքը տարածության տվյալ կետից անվերջ հեռու կետը տեղափոխելիս:***

(1.30) բանաձևը կիրառելի է ոչ միայն կետային լիցքի, այլև համաչափորեն լիցքավորված գնդի էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը գնդից դուրս կամ նրա մակերևույթին գտնվող կետերում հաշվելու համար: Դա բխում է այն հանգամանքից, որ այդ կետերում գնդի ստեղծած դաշտի լարվածությունը հավասար է այն կետային լիցքի դաշտի լարվածությանը, որը տեղադրված է գնդի կենտրոնում և ունի գնդի լիցքին հավասար լիցք:

§ 13. Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալների տարբերության կապը

Էլեկտրաստատիկ դաշտը բնութագրող երկու մեծությունների՝ լարվածության և պոտենցիալների տարբերության միջև գոյություն ունի որոշակի կապ: Ստանանք այդ կապն արտահայտող բանաձևը համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի դեպքում:

Ենթադրենք՝ q կետային դրական լիցքը $\vec{E}$ լարվածությամբ համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծի երկայնքով 1 կետից տեղափոխվում է 2 կետը (նկ.19): Դիցուք՝ այդ կետերի պոտենցիալների տարբերությունն U է, իսկ նրանց հեռավորությունը՝ d: Հաշվենք դաշտի կատարած աշխատանքը: Քանի որ դրական լիցքի վրա ազդող $\vec{F} = q\vec{E}$ ուժն ունի տեղափոխության ուղղությունը, ապա՝



Նկ. 19

$$A = qEd : \qquad (1.32)$$

Այդ աշխատանքը կարելի է արտահայտել նաև 1 և 2 կետերի պոտենցիալների տարբերության միջոցով՝

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU : \qquad (1.33)$$

Հավասարեցնելով (1.32) և (1.33) արտահայտությունները, կստանանք՝

Ակնհայտ է, որ եթե q_0 լիցքը դրական է, ապա տարածության բոլոր կետերում դրական է նաև նրա ստեղծած դաշտի պոտենցիալը: Եվ, հակառակը, եթե q_0 լիցքը բացասական է, ապա նրա պոտենցիալը ևս բացասական է:

(1.30) բանաձևից հետևում է, որ r-ը մեծացնելիս կետային լիցքի պոտենցիալը բացարձակ արժեքով փոքրանում է: Երբ $r \to \infty$, $\varphi \to 0$, այսինքն՝ անվերջ հեռու կետում պոտենցիալը հավասար է զրոյի: Այսպիսով, (1.30) բանաձևում որպես պոտենցիալի հաշվարկման զրոյական մակարդակ ընտրված են անվերջ հեռու կետերը: Եթե q լիցքը q_0 լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտում φ_1 պոտենցիալով կետից տեղափոխվում է անվերջ հեռու կետ, ապա կատարված աշխատանքը՝ $A = q(\varphi_1 - \varphi_\infty)$: Տեղադրելով $\varphi_\infty = 0$՝ կստանանք՝

$$\boxed{\varphi_1(r) = \frac{A}{q}}; \qquad (1.31)$$

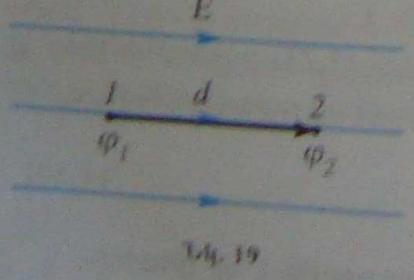
Հետևաբար, ***էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը թվապես հավասար է այն աշխատանքին, որը կատարում է դաշտը միավոր դրական լիցքը տարածության տվյալ կետից անվերջ հեռու կետը տեղափոխելիս:***

(1.30) բանաձևը կիրառելի է ոչ միայն կետային լիցքի, այլև համաչափորեն լիցքավորված գնդի էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը գնդից դուրս կամ նրա մակերևույթին գտնվող կետերում հաշվելու համար: Դա բխում է այն հանգամանքից, որ այդ կետերում գնդի ստեղծած դաշտի լարվածությունը հավասար է այն կետային լիցքի դաշտի լարվածությանը, որը տեղադրված է գնդի կենտրոնում և ունի գնդի լիցքին հավասար լիցք:

§ 13. Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալների տարբերության կապը

Էլեկտրաստատիկ դաշտը բնութագրող երկու մեծությունների՝ լարվածության և պոտենցիալների տարբերության միջև գոյություն ունի որոշակի կապ: Ստանանք այդ կապն արտահայտող բանաձևը հաճասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի դեպքում:

Ենթադրենք՝ q կետային դրական լիցքը $\vec{E}$ լարվածությամբ հաճասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծի երկայնքով 1 կետից տեղափոխվում է 2 կետ (նկ.19): Դիցուք՝ այդ կետերի պոտենցիալների տարբերությունն U է, իսկ նրանց հեռավորությունը՝ d: Հաշվենք դաշտի կատարած աշխատանքը: Քանի որ դրական լիցքի վրա ազդող $\vec{F} = q\vec{E}$ ուժն ունի տեղափոխության ուղղությունը, ապա՝



Նկ. 19

$$A = qEd; \qquad (1.32)$$

Այդ աշխատանքը կարելի է արտահայտել նաև 1 և 2 կետերի պոտենցիալների տարբերության միջոցով՝

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU; \qquad (1.33)$$

Հավասարեցնելով (1.32) և (1.33) արտահայտությունները, կստանանք՝

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}: \qquad (1.34)$$

Այսպիսով՝ համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության մոդուլը հավասար է դաշտի ուժագծի վրա գտնվող կամայական երկու կետերի պոտենցիալների տարբերության և այդ կետերի հեռավորության հարաբերությանը: (1.34) բանաձևից հետևում է, որ որքան մեծ է պոտենցիալի փոփոխությունն ուժագծի միավոր երկարության վրա, այնքան մեծ է դաշտի լարվածությունը: Եթե պոտենցիալը տարածության մեջ ընդհանրապես չի փոխվում ($\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ կամայական 1 և 2 կետերի համար), ապա դաշտի լարվածությունը հավասար է զրոյի:

Այժմ պարզենք կապը լարվածության ուղղության և պոտենցիալների տարբերության միջև:

Քանի որ քննարկված դեպքում դաշտի կատարած աշխատանքը դրական է, ապա (1.33) բանաձևից հետևում է, որ դրական պետք է լինի նաև $\varphi_1 - \varphi_2$ մեծությունը, այսինքն՝ $\varphi_1 > \varphi_2$: Այսպիսով՝ ստանում ենք, որ դաշտի լարվածությունն ուղղված է դեպի պոտենցիալի նվազման կողմը:

Լարվածության և լարման կապն արտահայտող (1.34) բանաձևը ստացանք համասեռ դաշտի դեպքում: Սակայն այն կարելի է կիրառել նաև կամայական դաշտի դեպքում, եթե միայն d հեռավորությունն այնքան փոքր է, որ այդ հեռավորության վրա դաշտի փոփոխությունը կարելի է անտեսել:

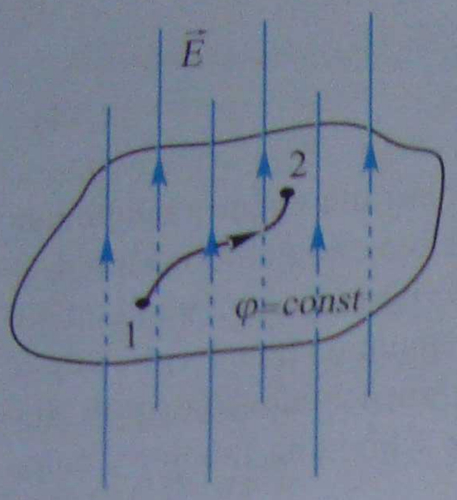
(1.34) բանաձևը թույլ է տալիս մեկ այլ եղանակով սահմանել լարվածության միավորը: Հաշվի առնելով, որ միավորների ՄՀ-ում լարումն արտահայտվում է վոլտով, իսկ հեռավորությունը՝ մետրով, լարվածության միավորի համար կստանանք՝ $[E] = 1$Վ/մ: 1Վ/մ-ն այնպիսի համասեռ դաշտի լարվածությունն է, որի ուժագծի երկայնքով 1 մ հեռավորության վրա գտնվող երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունը 1Վ է: Հեշտ է ապացուցել, որ 1 Վ/մ-ը հավասար է մինչ այդ ներմուծված 1 Ն/Կլ միավորին: Իրոք, 1 Վ/մ = 1 Ջ/(Կլ·մ) = 1 Ն մ/(Կլ·մ) = 1 Ն/Կլ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

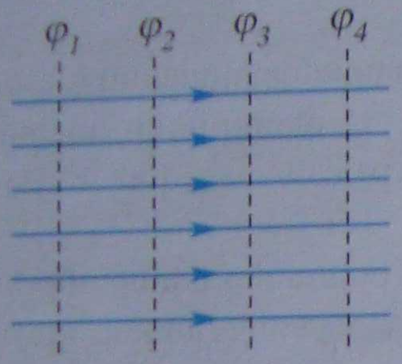
1. *Գրե՛ք համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալների տարբերության կապն արտահայտող բանաձևը:*
2. *Ի՞նչ կապ գոյություն ունի համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության ուղղության և պոտենցիալի փոփոխության միջև:*
3. *Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալն աճում է ձախից աջ ուղղությամբ: Ինչպե՞ս է ուղղված դաշտի լարվածության վեկտորը:*

§ 14. Համապոտենցիալ մակերևույթներ

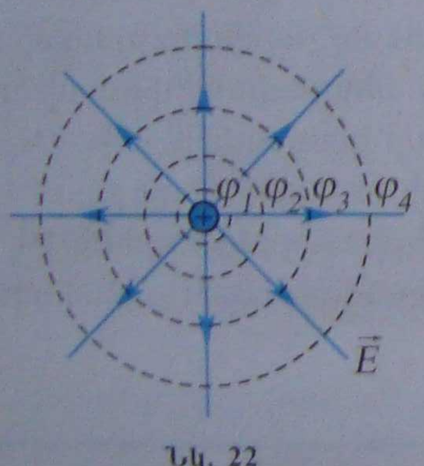
Եթե տարածության մեջ տանենք էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծերին ուղղահայաց մակերևույթ, ապա նրա բոլոր կետերը կունենան միևնույն պոտենցիալը (նկ.20): Իրոք, այդ մակերևույթի վրա լիցքը կամայական երկու կետերի միջև տեղափոխելիս դաշտի կողմից լիցքի վրա ազդող ուժը միշտ ուղղահայաց է տեղափոխությանը և աշխատանք չի կատարում: Հետևաբար, ըստ (1.23) բանաձևի, այդ կետերի պոտենցիալների տարբերությունը հավասար է զրոյի: Քանի որ դա ճիշտ է մակերևույթի յուրաքանչյուր կետի համար, ուրեմն այդ մակերևույթի բոլոր կետերի պոտենցիալները հավասար են միմյանց:



Նկ. 20



Նկ. 21



Նկ. 22

կացած երկու կետերի համար, ապա բոլոր կետերն ունեն միևնույն պոտենցիալը: ***Այն մակերևույթը, որի բոլոր կետերում դաշտի պոտենցիալն ունի միևնույն արժեքը, կոչվում է համապոտենցիալ մակերևույթ:***

Օգտվելով համապոտենցիալ մակերևույթներից՝ էլեկտրաստատիկ դաշտը կարելի է պատկերել գրաֆիկորեն, այնպես, ինչպես դա արվում է ուժագծերի օգնությամբ: Գծելով պոտենցիալի հաստատուն արժեքներին համապատասխանող տարբեր համապոտենցիալ մակերևույթներ՝ ստանում ենք դաշտի պոտենցիալի փոփոխության ակնառու պատկերը: Համասեռ դաշտի համապոտենցիալ մակերևույթներն ուժագծերին ուղղահայաց հարթություններ են (նկ.21), իսկ կետային լիցքի դաշտինը՝ համակենտրոն գնդոլորտներ (նկ.22):

Համապոտենցիալ մակերևույթ է լիցքավորված հաղորդչի մակերևույթը: Իրոք, § 7-ում ցույց տրվեց, որ լիցքերի հավասարակշռության դեպքում հաղորդչի մակերևույթի ցանկացած կետում էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության վեկտորն ուղղահայաց է մակերևույթին: Այստեղից հետևում է, որ լիցքը հաղորդչի մակերևույթի ցանկացած երկու կետերի միջև տեղափոխելիս դաշտը աշխատանք չի կատարում: Աշխատանք չի կատարվում նաև լիցքը հաղորդչի ներսում տեղափոխելիս, քանի որ նրա ներսում դաշտի լարվածությունը հավասար է զրոյի: Հետևաբար՝ հաղորդչի մակերևույթի, ինչպես նաև նրա ներսի բոլոր կետերն ունեն միևնույն պոտենցիալը:

Ցանկացած էլեկտրաստատիկ դաշտում կարելի է կառուցել անվերջ թվով համապոտենցիալ մակերևույթներ: Սովորաբար դրանք պատկերում են այնպես, որ ցանկացած երկու հարևան համապոտենցիալ մակերևույթների պոտենցիալների տարբերությունը լինի հաստատուն մեծություն:

Եթե հայտնի են դաշտի ուժագծերը, ապա կարելի է կառուցել համապոտենցիալ մակերևույթները և, հակառակը, հայտնի համապոտենցիալ մակերևույթներով կարելի է կառուցել դաշտի ուժագծերը: Ուստի ցանկացած էլեկտրաստատիկ դաշտ կարելի է պատկերել ինչպես ուժագծերով, այնպես էլ համապոտենցիալ մակերևույթներով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մակերևույթներն են կոչվում համապոտենցիալ:*
2. *Ինչի՞ է հավասար էլեկտրաստատիկ դաշտի կատարած աշխատանքը լիցքը համապոտենցիալ մակերևույթով տեղափոխելիս:*
3. *Ապացուցե՛ք, որ համապոտենցիալ մակերևույթներն ուժագծերը հատում են ուղիղ անկյան տակ:*
4. *Գծե՛ք էլեկտրական երկբևեռի էլեկտրաստատիկ դաշտի համապոտենցիալ մակերևույթների մոտավոր պատկերը:*

§ 15. Էլեկտրաունակություն

Շրջապատիկ առանձնացված* որևէ հաղորդիչ լիցքավորենք q լիցքով: Հաղորդչի բոլոր կետերը կունենան միևնույն φ պոտենցիալը: Չափենք այն: Այնուհետև հաղորդչի լիցքը մեծացնենք երկու անգամ և նորից չափենք պոտենցիալը: Կտեսնենք, որ այն մեծացել է երկու անգամ: Ամեն անգամ մեծացնելով հաղորդչի լիցքը և չափելով նրա պոտենցիալը՝ կհամոզվենք, որ քանի անգամ մեծացնում ենք լիցքը, նույնքան անգամ մեծանում է պոտենցիալը, այսինքն՝ հաղորդչի պոտենցիալն ուղիղ համեմատական է նրա լիցքի մեծությանը: Դա նշանակում է, որ հաղորդչի q լիցքի և φ պոտենցիալի q/φ հարաբերությունը կախված չէ լիցքի մեծությունից և տվյալ հաղորդչի համար հաստատուն մեծություն է: Այն անվանում են հաղորդչի ***էլեկտրաունակություն*** և նշանակում C տառով: ***Առանձնացված հաղորդչի էլեկտրաունակություն կոչվում է այն ֆիզիկական մեծությունը, որը հավասար է հաղորդչի լիցքի և պոտենցիալի հարաբերությանը.***

$$C = \frac{q}{\varphi} : \qquad (1.35)$$

Եթե հայտնի է հաղորդչի պոտենցիալը, ապա կարելի է որոշել նրա լիցքը.

$$q = C\varphi : \qquad (1.36)$$

(1.36) բանաձևից հետևում է, որ միևնույն պոտենցիալն ունեցող երկու հաղորդիչներից մեծ լիցք ունի մեծ էլեկտրաունակությամբ հաղորդիչը: Հետևաբար՝ էլեկտրաունակությունը բնութագրում է հաղորդչի լիցք կուտակելու ունակությունը:

Միավորների ՄՀ-ում լիցքի միավորը՝ $[q] = 1$ Կլ, իսկ պոտենցիալի միավորը՝ $[\varphi] = 1$Վ, ուստի (1.35) բանաձևից էլեկտրաունակության միավորի համար կստանանք՝

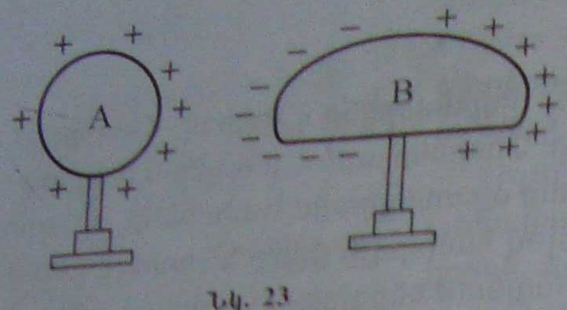
$$[C] = \frac{[q]}{[\varphi]} = 1\frac{\text{Կլ}}{\text{Վ}} :$$

Այդ միավորն անվանում են 1 ֆարադ (1Ֆ), ի պատիվ անգլիացի ֆիզիկոս Ֆարադեյի. 1Ֆ = 1Կլ/Վ: ***1Ֆ-ն այն առանձնացված հաղորդչի էլեկտրաունակությունն է, որը ծեռք է բերում 1 Վ պոտենցիալ, երբ նրան հաղորդում են 1Կլ լիցք:*** 1Ֆ-ը շատ մեծ էլեկտրաունակություն է, ուստի գործնականում օգտագործվում են նրա մասերը՝ միկրոֆարադը (1 մկՖ = 10^{-6} Ֆ), նանոֆարադը (1 նՖ = 10^{-9} Ֆ), պիկոֆարադը (1 պՖ = 10^{-12} Ֆ):

Քանի որ հաղորդչի լիցքը բաշխվում է միայն նրա արտաքին մակերևույթով, ապա նրա պոտենցիալը որոշելիս ոչ մի նշանակություն չունի, թե ինչ նյութից է այն կազմված, հո՞ղ է այն, թե՞ սնամեջ: Այդ պատճառով էլեկտրաունակությունը կախված չէ հաղորդչի կազմվածից կամ նյութի տեսակից, այլ կախված է նրա արտաքին մակերևույթի ձևից և չափերից: Տվյալ ձևի հաղորդչի գծային չափերը մեծացնելիս նրա էլեկտրաունակությունը մեծանում է:

---

* Առանձնացված կարելի է համարել այն հաղորդիչը, որը գտնվում է շրջապատի մարմիններից այնքան մեծ հեռավորության վրա, որ նրանց էլեկտրական ազդեցությունը կարելի է անտեսել:



Նկ. 23

Հաղորդչի էլեկտրաունակությունը կախված է նաև նրա շրջապատում գտնվող մարմինների առկայությունից: Եթե լիցքավորված A հաղորդչի մոտ տեղադրենք մի չլիցքավորված B հաղորդիչ (նկ.23), ապա վերջինիս վրա կառաջանան մակածված լիցքեր և կփոքրացնեն A հաղորդչի պոտենցիալը: Քանի որ այդ դեպքում A հաղորդչի լիցքը չի փոխվում, ապա (1.35) բանաձևից հետևում է, որ նրա էլեկտրաունակությունը մեծանում է: Եվ, վերջապես, հաղորդչի էլեկտրաունակությունը կախված է միջավայրի էլեկտրական հատկություններից: Եթե լիցքավորված հաղորդիչն օդից տեղափոխենք ε դիէլեկտրական թափանցելիություն ունեցող միջավայր, ապա միջավայրի բևեռացման շնորհիվ նրա պոտենցիալը կփոքրանա ε անգամ: Հետևաբար, համաձայն (1.35) բանաձևի, հաղորդչի էլեկտրաունակությունը կմեծանա ε անգամ, քանի որ հաղորդչի լիցքը չի փոխվել:

Այսպիսով՝ հաղորդչի էլեկտրաունակությունը կախված է նրա մակերևույթի չափերից և ձևից, շրջակա մարմինների առկայությունից և միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունից:

Հարցեր և առաջադրանքներ

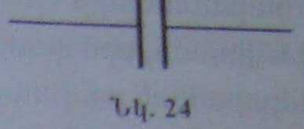
1. *Ինչպե՞ս է կախված հաղորդչի պոտենցիալը նրա լիցքից:*
2. *Ո՞ր մեծություններ են անվանում առանձնացված հաղորդչի էլեկտրաունակություն:*
3. *Ի՞նչ միավորով է չափվում էլեկտրաունակությունը միավորների ՄՀՀ-ում:*
4. *Ինչի՞ց է կախված հաղորդչի էլեկտրաունակությունը:*
5. *Ի՞նչ պայմանների դեպքում հաղորդչի վրա կարելի է կուտակել մեծ էլեկտրական լիցք:*

§ 16. Կոնդենսատորներ: Հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակության բանաձևը

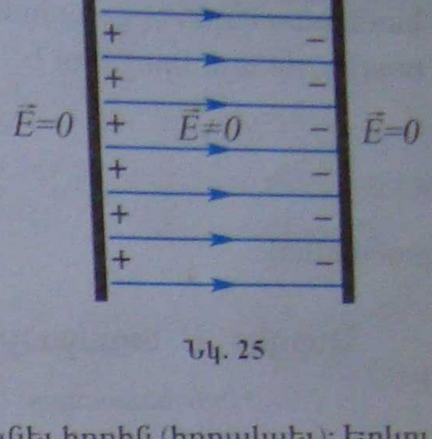
Գործնականում անհրաժեշտ է լինում ունենալ այնպիսի սարքեր, որոնք ունակ են իրենց վրա կրելու մեծ քանակությամբ էլեկտրական լիցք: Դրա համար անհրաժեշտ են մեծ էլեկտրաունակությամբ օժտված համակարգեր: Լիցքը, իհարկե, կարելի է կուտակել մեկ առանձին հաղորդչի վրա: Սակայն տեխնիկական և կիրառական տեսակետից դա հարմար չէ, քանի որ մեծ էլեկտրաունակություն ունենալու համար հաղորդիչը պետք է ունենա բավականին մեծ չափեր: Բացի այդ, առանձին հաղորդչի էլեկտրաստատիկ դաշտը կարող է անցանկալի ազդեցություններ ունենալ հարևան սարքերի վրա: Տեխնիկայում մեծ քանակությամբ լիցքեր կուտակելու համար օգտագործում են ***կոնդենսատոր*** (լատիներեն «կոնդենսարե»՝ խտացնել բառից) կոչվող սարքը:

Դիէլեկտրիկի բարակ շերտով իրարից բաժանված հաղորդիչների համակարգը կոչվում է կոնդենսատոր: Կոնդենսատորը կազմող հաղորդիչները կոչվում են կոնդենսատորի ***շրջադիրներ:*** Կախված շրջադիրների ձևից՝ տարբերակվում են հարթ, գնդային, գլանային և այլ կոնդենսատորներ:

Կոնդենսատորի պարզագույն օրինակ է հարթ կոնդենսատորը: Այն բաղկացած է երկու զուգահեռ հարթ մետաղե թիթեղներից, որոնք միմյանցից բաժանված են օդի կամ մեկ այլ դիէլեկտրիկի բարակ շերտով: Գնդային կոնդենսատորի շրջադիրները համակենտրոն մետաղե գնդոլորտներ են, իսկ գլանային կոնդենսատորինը՝ համառանցք գլանային մակերևույթներ: Էլեկտրական սխեմաներում կոնդենսատորը պատկերելու համար օգտագործվում է նկ.24-ում բերված պայմանական նշանը:



Նկ. 24



Նկ. 25

Կոնդենսատորը լիցքավորելու համար նրա մի շրջադիրը միացվում է լարման աղբյուրի (մարտկոցի) դրական բևեռին, իսկ մյուս շրջադիրը՝ բացասական բևեռին: Կարելի է նաև կոնդենսատորի շրջադիրներից մեկը միացնել աղբյուրի բևեռին, իսկ մյուս շրջադիրը միացնել հողին (հողակցել): Երկու դեպքում էլ կոնդենսատորի շրջադիրների վրա կուտակվում են մոդուլով հավասար, սակայն տարբեր նշանով լիցքեր: Կոնդենսատորի լիցք ասելով հասկանում են շրջադիրներից մեկի լիցքի բացարձակ արժեքը: Յուրաքանչյուր կոնդենսատոր ունակ է կուտակել որոշակի առավելագույն լիցք, այսինքն՝ նախատեսված է որոշակի առավելագույն U_{max} լարման համար: Երբ լարումը շրջադիրների վրա գերազանցում է U_{max}-ը, տեղի է ունենում շրջադիրների միջև գտնվող դիէլեկտրիկի ծակում (միջավայրի ատոմների իոնացման շնորհիվ այն դառնում է հաղորդիչ), և կոնդենսատորն արագորեն պարպվում է: Դրանից հետո այն դառնում է օգտագործման համար ոչ պիտանի:

Կոնդենսատորի շրջադիրների հեռավորությունը շատ անգամ փոքր է նրանց գծային չափերից, ուստի էլեկտրաստատիկ դաշտը գրեթե ամբողջովին կենտրոնացված է կոնդենսատորի ներսում: Այդ պատճառով կոնդենսատորից դուրս էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը մեծ ճշտությամբ կարելի է համարել զրոյի հավասար (նկ.25): Գնդային կոնդենսատորից դուրս էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը ճշգրիտ հավասար է զրոյի: Հետևաբար՝ լիցքավորված կոնդենսատորը ոչ մի ազդեցություն չի ունենում շրջապատի մարմինների վրա, և դրանք էլ իրենց հերթին չեն ազդում կոնդենսատորի վրա (չեն փոխում շրջադիրների պոտենցիալները):

Կոնդենսատորի շրջադիրների միջև լարումն անշուշտ կախված է կոնդենսատորի լիցքից: Փորձով կարելի է համոզվել, որ, անկախ կոնդենսատորի տեսակից, շրջադիրների միջև լարումն ուղիղ համեմատական է նրա լիցքին: Դա թույլ է տալիս ներմուծել կոնդենսատորի էլեկտրաունակություն հասկացությունը:

Կոնդենսատորի էլեկտրաունակություն կոչվում է այն մեծությունը, որը հավասար է կոնդենսատորի լիցքի և շրջադիրների միջև լարման հարաբերությանը.

$$C=\frac{q}{U}; \qquad (1.37)$$

Կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը ևս չափվում է ֆարադներով: 1 Ֆ-ն այնպիսի կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունն է, որին 1 Կլ լիցք հաղորդելիս նրա շրջադիրների միջև առաջանում է 1 Վ լարում:

Կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը կախված է նրա շրջադիրների չափերից, ձևից և փոխադարձ դասավորությունից, ինչպես նաև շրջադիրների միջև գտնվող նյութի դիէլեկտրական բափանցելիությունից: Փորձը ցույց է տալիս, որ հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունն ուղիղ համեմատական է շրջադիրների՝ իրար ծածկող S մակերեսին, նրանց միջև գտնվող նյութի ε դիէլեկտրական բափանցելիությանը և հակադարձ համեմատական է շրջադիրների d հեռավորությանը: Տեսական հաշվարկները ցույց են տալիս, որ այն որոշվում է

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \qquad (1.38)$$

բանաձևով:

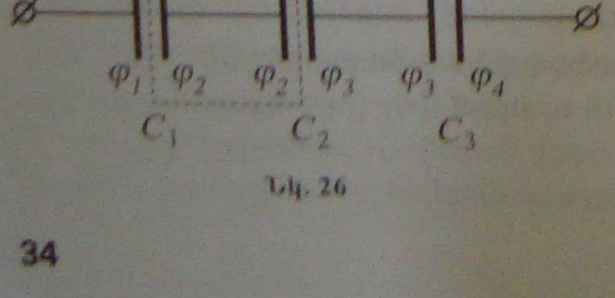
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է կոնդենսատորը:*
2. *Կոնդենսատորի ինչպիսի՞ տեսակներ գիտեք:*
3. *Ո՞ր մեծություններ են անվանում կոնդենսատորի էլեկտրաունակություն:*
4. *Սահմանե՛ք էլեկտրաունակության միավորը:*
5. *Ինչի՞ց է կախված կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը:*
6. *Գրե՛ք հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակության բանաձևը:*
7. *Հարթ օդային կոնդենսատորը միացված է հաստատուն լարման աղբյուրին: Ինչպե՞ս կփոխվի դրական շրջադիրի լիցքը, եթե շրջադիրների հեռավորությունը փոքրացվի:*

§ 17. Կոնդենսատորների հաջորդական և զուգահեռ միացումներ*

Կոնդենսատորները միացնելով իրար հետ՝ կարելի է կազմել կոնդենսատորների մարտկոց: Տրված կոնդենսատորները միացնելով տարբեր եղանակներով՝ կարելի է ստանալ տարբեր էլեկտրաունակությամբ մարտկոցներ: Տարբերում են կոնդենսատորների հաջորդական և զուգահեռ միացումները:

Կոնդենսատորների հաջորդական միացում: Հաջորդական միացման դեպքում կոնդենսատորները միացվում են հերթով՝ մեկը մյուսի ետևից այնպես, որ յուրաքանչյուր կոնդենսատորի շրջադիրները համապատասխանաբար միացվում են նախորդ և հաջորդ կոնդենսատորների մեկական շրջադիրի: Նկ.26-ում պատկերված է երեք կոնդենսատորների հաջորդական միացումը: Առաջին և երկրորդ կոնդենսատորների երկու հարևան շրջադիրները (գծագրում դրանք առանձնացված են կետագծերով) կազմում են մեկ հաղորդիչ և պետք է ունենան միևնույն φ_2 պոտենցիալը: Քանի որ նրանց վրա դրսից լիցքեր չեն տեղափոխվում (շրջապատված են մեկուսիչով), ապա նրանց ընդհանուր լիցքը հավասար է զրոյի: Շրջադիրներից մեկի բացասական լիցքը մոդուլով հավասար է մյուսի դրական լիցքին՝ $q_1 = q_2$: Դա նշանակում է, որ C_1 և C_2 կոնդենսատորների լիցքերն իրար հավասար են: Նման եղա-



Նկ. 26

նակով կարելի է ցույց տալ, որ հաջորդաբար միացված բոլոր կոնդենսատորներն ունեն միևնույն լիցքը՝

$$q = q_1 = q_2 = \cdots = q_n \qquad (1.39)$$

Քանի որ իրար միացված ցանկացած երկու հաղորդիչներ ունեն նույն պոտենցիալը, ապա՝

$$U_1 + U_2 + \cdots + U_n = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \cdots + (\varphi_{n-1} - \varphi_n) = \varphi_1 - \varphi_n = U:$$

Այսպիսով՝ հաջորդական միացման դեպքում մարտկոցի վրա կիրառված լարումը հավասար է առանձին կոնդենսատորների վրա կիրառված լարումների գումարին՝

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n: \qquad (1.40)$$

(1.40) հավասարման մեջ տեղադրելով $U = q/C$, $U_1 = q_1/C_1$, ... , $U_n = q_n/C_n$ և հաշվի առնելով (1.39) հավասարումները, կստանանք՝

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}: \qquad (1.41)$$

Հաջորդաբար միացված կոնդենսատորների մարտկոցի էլեկտրաունակության հակադարձ մեծությունը հավասար է առանձին կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունների հակադարձ մեծությունների գումարին: Մասնավորապես, C_0 էլեկտրաունակությամբ n կոնդենսատորների հաջորդական միացման դեպքում մարտկոցի էլեկտրաունակությունը՝ $C = C_0/n$:

Կոնդենսատորների զուգահեռ միացում: Զուգահեռ միացման դեպքում կոնդենսատորների մեկական շրջադիրները միացվում են մի կետում, իսկ մյուս շրջադիրները՝ մեկ այլ կետում: Նկ.27-ում պատկերված է երեք կոնդենսատորների զուգահեռ միացման սխեման:

Քանի որ զուգահեռ միացման դեպքում բոլոր կոնդենսատորները միացվում են միևնույն զույգ կետերին, ապա նրանց լարումները նույնն են.

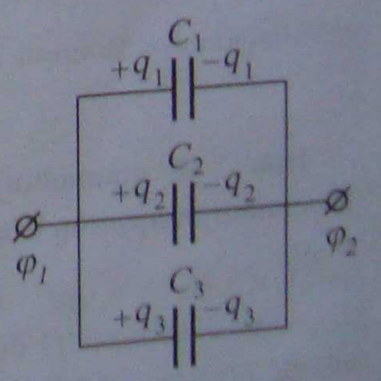
$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \qquad (1.42)$$

Հասկանալի է, որ այս դեպքում մարտկոցի ընդհանուր լիցքը հավասար է կոնդենսատորների լիցքերի գումարին.

$$q = q_1 + q_2 + \cdots + q_n: \qquad (1.43)$$

(1.43) հավասարման մեջ տեղադրելով $q = CU$, $q_1 = C_1U_1$, ..., $q_n = C_nU_n$ արտահայտությունները և հաշվի առնելով (1.42) հավասարումները, կստանանք՝

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n: \qquad (1.44)$$



Նկ. 27

Զուգահեռաբար միացված կոնդենսատորների մարտկոցի էլեկտրաունակությունը հավասար է առանձին կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունների գումարին: Մասնավորապես, C_0 էլեկտրաունակությամբ n կոնդենսատորների զուգահեռ միացման դեպքում մարտկոցի էլեկտրաունակությունը՝ $C = nC_0$:

նակով կարելի է գտնել, որ հաջորդաբար միացված բոլոր կոնդենսատորներն ունեն միևնույն լիցքը՝

$$q = q_1 = q_2 = \cdots = q_n \qquad (1.39)$$

Քանի որ իրար միացված ցանկացած երկու հաղորդիչներ ունեն նույն պոտենցիալը, ապա՝

$$U_1 + U_2 + \cdots + U_n = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \cdots + (\varphi_{n-1} - \varphi_n) = \varphi_1 - \varphi_n = U :$$

Այսպիսով՝ հաջորդական միացման դեպքում մարտկոցի վրա կիրառված լարումը հավասար է առանձին կոնդենսատորների վրա կիրառված լարումների գումարին՝

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n : \qquad (1.40)$$

(1.40) հավասարման մեջ տեղադրելով $U = q/C$, $U_1 = q_1/C_1$, ... , $U_n = q_n/C_n$ և հաշվի առնելով (1.39) հավասարումները, կստանանք՝

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} : \qquad (1.41)$$

Հաջորդաբար միացված կոնդենսատորների մարտկոցի էլեկտրաունակության հակադարձ մեծությունը հավասար է առանձին կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունների հակադարձ մեծությունների գումարին: Մասնավորապես, C_0 էլեկտրաունակությամբ n կոնդենսատորների հաջորդական միացման դեպքում մարտկոցի էլեկտրաունակությունը՝ $C = C_0/n$:

Կոնդենսատորների զուգահեռ միացում: Զուգահեռ միացման դեպքում կոնդենսատորների մեկական շրջադիրները միացվում են մի կետում, իսկ մյուս շրջադիրները՝ մեկ այլ կետում: Նկ.27-ում պատկերված է երեք կոնդենսատորների զուգահեռ միացման սխեման:

Քանի որ զուգահեռ միացման դեպքում բոլոր կոնդենսատորները միացվում են միևնույն զույգ կետերին, ապա նրանց լարումները նույնն են.

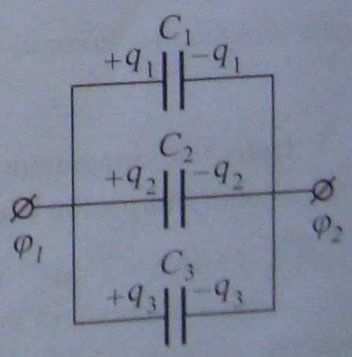
$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \qquad (1.42)$$

Հասկանալի է, որ այս դեպքում մարտկոցի ընդհանուր լիցքը հավասար է կոնդենսատորների լիցքերի գումարին.

$$q = q_1 + q_2 + \cdots + q_n : \qquad (1.43)$$

(1.43) հավասարման մեջ տեղադրելով $q = CU$, $q_1 = C_1U_1$, ..., $q_n = C_nU_n$ արտահայտությունները և հաշվի առնելով (1.42) հավասարումները, կստանանք՝

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n : \qquad (1.44)$$

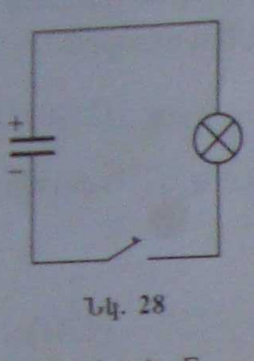


Նկ. 27

Զուգահեռաբար միացված կոնդենսատորների մարտկոցի էլեկտրաունակությունը հավասար է առանձին կոնդենսատորների էլեկտրաունակությունների գումարին: Մասնավորապես, C_0 էլեկտրաունակությամբ n կոնդենսատորների զուգահեռ միացման դեպքում մարտկոցի էլեկտրաունակությունը՝ $C = nC_0$:

§ 18. Լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիան

Ցանկացած լիցքավորված համակարգ օժտված է որոշակի պոտենցիալ էներգիայով: Լիցքավորված կոնդենսատորը նույնպես օժտված է պոտենցիալ էներգիայով: Դրանում կարելի է համոզվել հետևյալ փորձի օգնությամբ: Եթե լիցքավորված կոնդենսատորը միացնենք շիկացման լամպին և շղթան փակենք (նկ.28), ապա լամպը կարճատև կլուսարձակի: Հասկանալի է, որ լուսարձակումը տեղի է ունենում կոնդենսատորի էներգիայի հաշվին:



Նկ. 28

Հաշվենք լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիան: Այդ էներգիան կոնդենսատորի շրջադիրների վրա կուտակված լիցքերի փոխազդեցության պոտենցիալ էներգիան է: Համաձայն մերձազդեցության տեսության՝ փոխազդեցությունն իրականացվում է հետևյալ կերպ. շրջադիրներից մեկը ստեղծում է էլեկտրաստատիկ դաշտ, որն էլ ազդում է մյուս շրջադիրի լիցքի վրա: Հետևաբար՝ կարող ենք ասել, որ կոնդենսատորի W պոտենցիալ էներգիան մի շրջադիրի q լիցքի էլեկտրաստատիկ էներգիան է մյուս շրջադիրի ստեղծած E_1 լարվածության դաշտում: Դրականապես և բացասականապես լիցքավորված շրջադիրները կոնդենսատորի ներսում ստեղծում են համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտեր, որոնց լարվածությունները մոդուլով իրար հավասար են և ունեն նույն ուղղությունը: Ուստի նրանցից յուրաքանչյուրի ստեղծած դաշտի E_1 լարվածությունը հավասար է ընդհանուր դաշտի E լարվածության կեսին՝ $E_1 = E/2$: Համաձայն (1.21) բանաձևի՝

$$W = \frac{qEd}{2};$$

Քանի որ $Ed = U$, որտեղ U-ն կոնդենսատորի շրջադիրների միջև լարումն է, ապա՝

$$\boxed{W = \frac{qU}{2}}; \qquad (1.45)$$

Օգտվելով կոնդենսատորի էլեկտրաունակության $C = q/U$ բանաձևից՝ կոնդենսատորի էներգիան կարող ենք ներկայացնել նաև այլ տեսքերով՝

$$\boxed{W = \frac{q^2}{2C}}, \quad \boxed{W = \frac{CU^2}{2}}; \qquad (1.46)$$

Եթե (1.46) արտահայտության մեջ տեղադրենք էլեկտրաունակության $C = \varepsilon_0 \varepsilon S/d$ արտահայտությունը և հաշվի առնենք լարման և լարվածության $U = Ed$ կապը, կստանանք՝

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \cdot \frac{E^2 d^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd;$$

Այս արտահայտությունը բաժանելով դաշտի գրաղեկրած Sd ծավալի վրա՝ կստանանք դաշտի միավոր ծավալին բաժին ընկնող էներգիան, այսինքն՝ էներգիայի խտությունը՝

$$w = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}: \qquad (1.47)$$

Այս բանաձևը ճիշտ է ոչ միայն կոնդենսատորի համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի, այլև կանոնական, այդ թվում՝ նաև ժամանակի ընթացքում փոփոխվող էլեկտրական դաշտերի համար:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպե՞ս կարելի է համոզվել, որ լիցքավորված կոնդենսատորն օժտված է էներգիայով:*
2. *Գրե՛ք լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիայի բանաձևը:*
3. *Գրե՛ք էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտության բանաձևը:*
4. *Հարթ օդային կոնդենսատորը միացված է հաստատուն լարման աղբյուրին: Ինչպե՞ս կփոխվի կոնդենսատորի էներգիան, եթե շրջադիրների հեռավորությունը մեծացվի:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ջրածնի ատոմում պրոտոնն ու էլեկտրոնը միմյանց ձգում են գրավիտացիոն և էլեկտրական ուժերով: Այդ ուժերից ո՞րն է մեծ և քանի՞ անգամ:*

Լուծում: Գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժը որոշվում է տիեզերական ձգողության օրենքով՝

$$F_q = G\frac{m_e m_p}{R^2},$$

որտեղ m_e-ն և m_p-ն էլեկտրոնի և պրոտոնի զանգվածներն են, R-ը՝ նրանց հեռավորությունը: Էլեկտրական փոխազդեցության ուժը՝

$$F_{el} = k\frac{|q_e|\cdot|q_p|}{R^2},$$

որտեղ $q_e = -e$ էլեկտրոնի լիցքն է, իսկ $q_p = e$՝ պրոտոնի: Այս արտահայտությունները բաժանելով իրար վրա, ստանում ենք՝

$$\frac{F_{el}}{F_q} = \frac{ke^2}{Gm_e m_p}:$$

Տեղադրելով $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$կգ, $m_p = 1{,}67\cdot10^{-27}$կգ, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$Կլ, $k = 9\cdot10^9$Ն·մ^2/Կլ^2, $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$Ն·մ^2/կգ^2, կստանանք՝ $F_{el}/F_q \approx 2{,}5\cdot10^{39}$, այսինքն՝ էլեկտրոնի և պրոտոնի էլեկտրական փոխազդեցության ուժերը մոտ 10^{39} անգամ ավելի մեծ են, քան գրավիտացիոն ուժերը:

2. *Տարաձուն $4q$ և $-q$ լիցքերով լիցքավորված միատեսակ մետաղե փոքր գնդիկները գտնվում են իրարից r հեռավորության վրա: Գնդիկները հպվեցին իրար: Ի՞նչ x հեռավորության վրա պետք է դրանք գտնվեն իրարից, որպեսզի փոխազդեցության ուժի մոդուլը մնա նախկինը:*

Լուծում: Մինչև հպելը գնդիկների էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժը՝

$$F_1 = k\frac{|-q||4q|}{r^2} = k\frac{4q^2}{r^2}:$$

Քանի որ գնդիկները միատեսակ են, ապա հպելուց հետո նրանց նախնական ընդհանուր $4q+(-q)=3q$ լիցքը հավասարապես կբաշխվի երկու գնդիկների վրա, և յուրաքանչյուրը կունենա դրական $3q/2$ լիցք, հետևաբար՝ x հեռավորության վրա նրանց փոխազդեցության ուժը՝

$$F_2 = k\frac{9q^2}{4x^2}:$$

Հավասարեցնելով այդ ուժերը՝ $4kq^2/r^2 = 9kq^2/4x^2$, կստանանք՝ $x = 0{,}75r$: Եթե մինչև հպելը գնդիկները ձգում էին միմյանց, ապա հպելուց հետո իրար կվանեն:

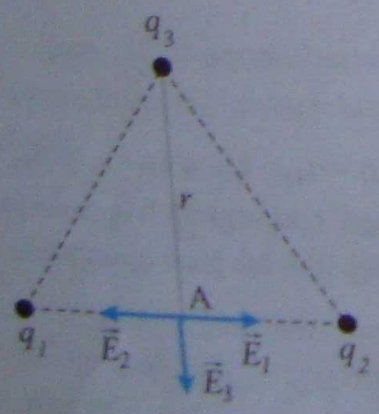
3. *Համասեռ էլեկտրական դաշտը լիցքավորված մասնիկին հաղորդում է $a=3{,}2\cdot10^{13}$ մ/վ^2 արագացում: Որոշել դաշտի լարվածության մոդուլը, եթե մասնիկի լիցքի հարաբերությունը նրա զանգվածին՝ $q/m = 1{,}6\cdot10^{11}$ Կլ/կգ է:*

Լուծում: Էլեկտրական դաշտի կողմից լիցքավորված մասնիկի վրա ազդող ուժի մոդուլը՝ $F=qE$, որտեղ E-ն էլեկտրական դաշտի լարվածության մոդուլն է: Նյուտոնի երկրորդ օրենքից կստանանք՝ $qE=ma$, որտեղից՝

$$E = \frac{ma}{q} = \frac{a}{q/m} = 200 \text{ Վ/մ}:$$

4. *Հավասարակողմ եռանկյան գագաթներից յուրաքանչյուրում գտնվում է $q_1=q_2=q_3=10^{-10}$ Կլ լիցք: Եռանկյան կողմի երկարությունը՝ $a = 0{,}1$ մ: Գտնել կողմերից մեկի միջնակետում էլեկտրական դաշտի լարվածության մոդուլը:*

Լուծում: Համաձայն վերադրման սկզբունքի՝ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը A միջնակետում հավասար է այդ կետում առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտերի լարվածությունների վեկտորական գումարին՝ $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$:



q_1 և q_2 լիցքերի ստեղծած դաշտերի $\vec{E}_1$ և $\vec{E}_2$ լարվածությունները A կետում մոդուլով իրար հավասար են, իսկ ուղղությամբ՝ հակադիր, հետևաբար՝ նրանց գումարն այդ կետում հավասար է զրոյի: Ուստի արդյունարար դաշտի լարվածությունը հավասար է q_3 լիցքի ստեղծած դաշտի լարվածությանը: Վերջինիս մոդուլը որոշվում է

$$E_3 = k\frac{q_3}{r^2}$$

բանաձևով, որտեղ $r^2 = a^2 - a^2/4 = 3a^2/4$ մեծությունն A կետից q_3 լիցքի հեռավորության քառակուսին է: Այսպիսով՝

$$E = k\frac{4q_3}{3a^2} = 120 \text{ Վ/մ} :$$

5. ***Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոնի արագությունը $v_1 = 10^7$ մ/վ-ից աճեց մինչև $v_2 = 3\cdot10^7$ մ/վ: Գտնել տեղափոխության սկզբնական և վերջնական կետերի պոտենցիալների տարբերությունը:***

Լուծում: Համաձայն կինետիկ էներգիայի թեորեմի՝ էլեկտրոնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությունը հավասար է էլեկտրական դաշտի կատարած $A = -eU$ աշխատանքին՝

$$\frac{m_e v_2^2}{2} - \frac{m_e v_1^2}{2} = -eU ,$$

որտեղ $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ կգ-ն էլեկտրոնի զանգվածն է, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Կլ-ը՝ էլեկտրոնի լիցքի մոդուլը, իսկ U-ն՝ սկզբնական և վերջնական կետերի պոտենցիալների տարբերությունը: Վերը գրված բանաձևից կստանանք՝

$$U = -\frac{m_e}{2e}(v_2^2 - v_1^2) \approx -2{,}3\cdot10^3 \text{ Վ} :$$

6. ***Հարթ օդային կոնդենսատորի շրջադիրներից յուրաքանչյուրի մակերեսը՝ $S = 0{,}02$ մ^2 է, իսկ նրանց հեռավորությունը՝ $d = 0{,}01$ մ: Որոշել կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան, եթե դաշտի լարվածությունը՝ $E=5\cdot10^5$ Վ/մ է:***

Լուծում: Կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան որոշվում է համաձայն $W = CU^2/2$ բանաձևի: Օգտվելով օդային հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակության $C = \varepsilon_0 S/d$ բանաձևից և էլեկտրական դաշտի E լարվածության և U պոտենցիալների տարբերության $U=Ed$ կապից, ստանում ենք՝

$$W = \frac{\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S d E^2}{2} \approx 2{,}2\cdot10^{-4} \text{ Ջ} :$$

Խնդիրներ

1. *$6\cdot10^{-9}$ կլ, $-4\cdot10^{-9}$ կլ և $7\cdot10^{-9}$ կլ լիցքեր ունեցող երեք միատեսակ մետաղե գնդեր հպեցին իրար և հեռացրին: Գտնել յուրաքանչյուր գնդի լիցքը հեռացնելուց հետո:*
2. *Օդում իրարից 0,05 մ հեռավորության վրա գտնվող երկու կետային լիցքեր փոխազդում են $1{,}2\cdot10^{-4}$ Ն ուժով: Հեղուկ դիէլեկտրիկում 0,1 մ հեռավորության վրա այդ լիցքերի փոխազդեցության ուժը $1{,}5\cdot10^{-5}$ Ն է: Գտնել հեղուկի դիէլեկտրական թափանցելիությունը:*
3. *Երկու միատեսակ մետաղե գնդիկներ 0,2 մ երկարությամբ մեկուսիչ թելերով կախված են մի կետից: Երբ գնդիկներից յուրաքանչյուրին հաղորդեցին $2\cdot10^{-9}$ կլ լիցք, նրանք իրարից հեռացան 0,16 մ-ով: Որոշել յուրաքանչյուր թելի լարման ուժը:*

բանաձևով, որտեղ $r^2 = a^2 - a^2/4 = 3a^2/4$ մեծությունն A կետիկ q_3 լիցքի հեռավորության բառակուսին է: Այսպիսով՝

$$E = k\frac{4q_3}{3a^2} = 120 \text{ Վ/մ} :$$

5. ***Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոնի արագությունը $v_1 = 10^7$ մ/վ-ից աճեց մինչև $v_2 = 3\cdot10^7$ մ/վ: Գտնել տեղափոխության սկզբնական և վերջնական կետերի պոտենցիալների տարբերությունը:***

Լուծում: Համաձայն կինետիկ էներգիայի թեորեմի՝ էլեկտրոնի կինետիկ էներգիայի փոփոխությունը հավասար է էլեկտրական դաշտի կատարած $A = -eU$ աշխատանքին՝

$$\frac{m_e v_2^2}{2} - \frac{m_e v_1^2}{2} = -eU ,$$

որտեղ $m_e = 9{,}1\cdot10^{-31}$ կգ-ն էլեկտրոնի զանգվածն է, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Կլ-ը՝ էլեկտրոնի լիցքի մոդուլը, իսկ U-ն՝ սկզբնական և վերջնական կետերի պոտենցիալների տարբերությունը: Վերը գրված բանաձևից կստանանք՝

$$U = -\frac{m_e}{2e}(v_2^2 - v_1^2) \approx -2{,}3\cdot10^3 \text{ Վ} :$$

6. ***Հարթ օդային կոնդենսատորի շրջադիրներից յուրաքանչյուրի մակերեսը՝ $S = 0{,}02$ մ^2 է, իսկ նրանց հեռավորությունը՝ $d = 0{,}01$ մ: Որոշել կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան, եթե դաշտի լարվածությունը՝ $E=5\cdot10^5$ Վ/մ է:***

Լուծում: Կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան որոշվում է համաձայն $W = CU^2/2$ բանաձևի: Օգտվելով օդային հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակության $C = \varepsilon_0 S/d$ բանաձևից և էլեկտրական դաշտի E լարվածության և U պոտենցիալների տարբերության $U=Ed$ կապից, ստանում ենք՝

$$W = \frac{\varepsilon_0 S}{d}\cdot\frac{(Ed)^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S d E^2}{2} \approx 2{,}2\cdot10^{-4} \text{ Ջ} :$$

Խնդիրներ

1. *$6\cdot10^{-9}$ Կլ, $-4\cdot10^{-9}$ Կլ և $7\cdot10^{-9}$ Կլ լիցքեր ունեցող երեք միատեսակ մետաղե գնդեր հպեցին իրար և հեռացրին: Գտնել յուրաքանչյուր գնդի լիցքը հեռացնելուց հետո:*
2. *Օդում իրարից 0,05 մ հեռավորության վրա գտնվող երկու կետային լիցքեր փոխազդում են $1{,}2\cdot10^{-4}$ Ն ուժով: Հեղուկ դիէլեկտրիկում 0,1 մ հեռավորության վրա այդ լիցքերի փոխազդեցության ուժը $1{,}5\cdot10^{-5}$ Ն է: Գտնել հեղուկի դիէլեկտրական թափանցելիությունը:*
3. *Երկու միատեսակ մետաղե գնդիկներ 0,2 մ երկարությամբ մեկուսիչ թելերով կախված են մի կետից: Երբ գնդիկներից յուրաքանչյուրին հաղորդեցին $2\cdot10^{-9}$ Կլ լիցք, նրանք իրարից հեռացան 0,16 մ-ով: Որոշել յուրաքանչյուր թելի լարման ուժը:*

4. Համասեռ էլեկտրական դաշտը պրոտոնին հաղորդում է ազատ անկման արագացմանը հավասար արագացում: Գտնել այդ դաշտի լարվածությունը: Պրոտոնի լիցքի հարաբերությունը զանգվածին հավասար է $9{,}6 \cdot 10^7$ Կլ/կգ-ի:

5. $4 \cdot 10^{-9}$ Կլ և $-9 \cdot 10^{-9}$ Կլ երկու կետային լիցքերի հեռավորությունը 0,6 մ է: Լիցքերը միացնող ուղղի վրա դրական լիցքից ի՞նչ հեռավորություն ունեցող կետում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը կլինի զրո:

6. 2 մ կողմ ունեցող հավասարակողմ եռանկյան երկու գագաթներում գտնվում են $2 \cdot 10^{-8}$ Կլ և $4 \cdot 10^{-8}$ Կլ կետային լիցքեր: Գտնել էլեկտրական դաշտի լարվածությունը եռանկյան երրորդ գագաթում:

7. Ի՞նչ աշխատանք կկատարի դաշտը $8 \cdot 10^{-3}$ Կլ լիցքը 2 Վ պոտենցիալ ունեցող կետից -8 Վ պոտենցիալ ունեցող կետը տեղափոխելու համար:

8. Ի՞նչ արագություն ձեռք կբերի էլեկտրոնը 10^4 Վ/մ լարվածությամբ համասեռ էլեկտրական դաշտում ուժագծի երկայնքով $9{,}1 \cdot 10^{-3}$ մ տեղափոխվելիս, եթե նրա սկզբնական արագությունը հավասար է զրոյի:

9. $3 \cdot 10^{-9}$ Կլ և $2 \cdot 10^{-9}$ Կլ կետային լիցքերը գտնվում են իրարից 0,2 մ հեռավորության վրա: Այդ լիցքերը միացնող ուղղի վրա երկրորդ լիցքից ի՞նչ հեռավորություն ունի այն կետը, որում դաշտի պոտենցիալը հավասար է զրոյի:

10. Հարթ կոնդենսատորի յուրաքանչյուր շրջադիրի մակերեսը 0,052 մ^2 է: Օդում իրարից ի՞նչ հեռավորության վրա պետք է տեղադրել շրջադիրները, որպեսզի կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը լինի հավասար $4{,}6 \cdot 10^{-11}$ Ֆ-ի:

11. Դիէլեկտրիկով լցված հարթ կոնդենսատորի լիցքը հավասար է $2{,}7 \cdot 10^{-4}$ Կլ-ի: Թիթեղների հեռավորությունը $2{,}3 \cdot 10^{-5}$ մ է, իսկ նրա էլեկտրաունակությունը առանց դիէլեկտրիկի՝ 10^{-8} Ֆ: Գտնել դաշտի լարվածությունը դիէլեկտրիկի ներսում, եթե նրա դիէլեկտրական թափանցելիությունը հավասար է 7-ի:

12. C էլեկտրաունակությամբ հարթ օդային կոնդենսատորը միացված է լարման աղբյուրին, որի սեղմակներում լարումն U է: Ինչպե՞ս կփոխվեն կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը, լիցքը, կոնդենսատորի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և էներգիան, եթե, չանջատելով աղբյուրից, նրա շրջադիրների հեռավորությունը փոքրացնենք 2 անգամ:

ԳԼՈՒԽ 1-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Էլեկտրական լիցքը սկալյար ֆիզիկական մեծություն է, որը մարմինների՝ էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության մեջ մտնելու հատկության քանակական չափն է: Լիցքավորված մարմինների փակ համակարգում լիցքը պահպանվում է:

2. Վակուումում իրարից r հեռավորության վրա գտնվող երկու q_1 և q_2 անշարժ կետային լիցքերի փոխազդեցության ուժն ուղղված է այդ լիցքերը միացնող ուղղի երկայնքով, իսկ նրա մոդուլն ուղիղ համեմատական է լիցքերի մոդուլների արտադրյալին և հակադարձ համեմատական է նրանց հեռավորության քառակուսուն (Կուլոնի օրենք)՝

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$ որտեղ $$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Ն} \cdot \text{մ}^2}{\text{Կլ}^2}:$$

3. Լիցքերի փոխազդեցությունն իրականացվում է էլեկտրական դաշտի միջոցով: Անշարժ լիցքերի ստեղծած դաշտը կոչվում է էլեկտրաստատիկ դաշտ :

4. Էլեկտրական դաշտի ուժային բնութագիրը դաշտի լարվածությունն է: Էլեկտրական դաշտի լարվածություն կոչվում է այն վեկտորական մեծությունը, որը տարածության տվյալ կետում հավասար է այդ կետում տեղադրված q կետային լիցքի վրա ազդող $\vec{F}$ ուժի և այդ լիցքի հարաբերությանը՝ $\vec{E} = \vec{F}/q$:

5. q_0 անշարժ կետային լիցքի դաշտի լարվածությունը նրանից r հեռավորության վրա որոշվում է $E = k|q|/r^2$ բանաձևով:

6. Տարածության տվյալ կետում լիցքերի համակարգի ստեղծած արդյունարար դաշտի լարվածությունը հավասար է առանձին լիցքերի ստեղծած դաշտերի լարվածությունների վեկտորական գումարին (վերադրման սկզբունք)՝

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n :$$

7. Հաղորդիչներն այն նյութերն են, որոնցում կան ազատ լիցքեր: Հաղորդչին հաղորդված լիցքը բաշխվում է նրա արտաքին մակերևույթով: Լիցքերի հավասարակշռության դեպքում էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը հաղորդչի ներսում հավասար է զրոյի:

8. Դիէլեկտրիկներն այն նյութերն են, որոնցում ազատ լիցքեր չկան: Դիէլեկտրիկի բևեռացման շնորհիվ նրա ներսում դաշտը թուլանում է ε անգամ, որտեղ ε-ը նյութի դիէլեկտրական թափանցելիությունն է:

9. Էլեկտրաստատիկ դաշտը պոտենցիալային դաշտ է՝ դաշտում լիցքի տեղափոխման աշխատանքը կախված չէ հետագծի ձևից:

10. Լիցքի պոտենցիալ էներգիան համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում որոշվում է $W = qEx$ բանաձևով, որտեղ x-ը հեռավորությունն է այն հարթությունից, որի վրա պոտենցիալ էներգիան ընդունվում է հավասար զրոյի:

11. Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալ կոչվում է այն սկալյար մեծությունը, որը հավասար է կետային լիցքի պոտենցիալ էներգիայի և այդ լիցքի հարաբերությանը.

$$\varphi = \frac{W}{q} :$$

12. Երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունը (լարումը) հավասար է այդ կետերի միջև լիցքը տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքի և այդ լիցքի հարաբերությանը.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} :$$

13. Համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածությունը և իրարից d հեռավորության վրա գտնվող երկու կետերի պոտենցիալների տարբերությունը կապված են $E=U/d$ առնչությամբ:

14. Հաղորդչի՝ էլեկտրական լիցք կուտակելու հատկությունը բնորոշվում է էլեկտրաունակություն կոչվող մեծությամբ: Առանձնացված հաղորդչի էլեկտրաունակությունը հավասար է նրա լիցքի և պոտենցիալի հարաբերությանը՝

$$C = \frac{q}{\varphi};$$

15. Դիէլեկտրիկի բարակ շերտով իրարից բաժանված հաղորդիչների համակարգը կոչվում է կոնդենսատոր: Կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը հավասար է նրա լիցքի և լարման հարաբերությանը՝

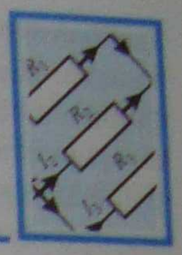
$$C = \frac{q}{U};$$

16. Հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը որոշվում է $C = \varepsilon\varepsilon_0 S/d$ բանաձևով, որտեղ S-ը շրջադիրների մեկի մակերեսն է, d-ն՝ նրանց հեռավորությունը, ε-ը՝ թիթեղների միջև գտնվող նյութի դիէլեկտրական թափանցելիությունը, ε_0-ն՝ էլեկտրական հաստատունը՝ $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Կլ^2/Ն$\cdot$մ^2:

17. Լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիան՝ $W = qU/2 = CU^2/2 = q^2/(2C)$:

Էլեկտրական դաշտի էներգիայի խտությունը՝ $w = \varepsilon\varepsilon_0 E^2/2$:

2 ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ՀՈՍԱՆՔԻ ՕՐԵՆՔՆԵՐԸ



§ 19. Էլեկտրական հոսանք

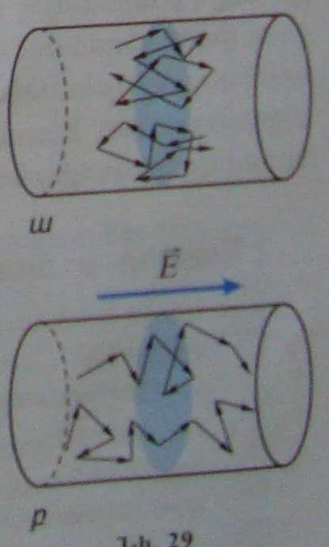
Հաղորդչում առկա ազատ լիցքերը, համաձայն մոլեկուլային-կինետիկ տեսության, կատարում են անկանոն, քաոսային շարժում: Սա նշանակում է, որ ժամանակի ցանկացած պահի որևէ ուղղությամբ միջին հաշվով շարժվում է նույնքան լիցքավորված մասնիկ, որքան և՝ հակառակ ուղղությամբ: Այդ պատճառով հաղորդչի լայնական հատույթով անցած գումարային լիցքը հավասար է զրոյի, և հաղորդչում լիցքի մակրոսկոպական տեղափոխություն չի կատարվում (նկ.29,ա):

Պատկերն էապես փոխվում է հաղորդչի ծայրերին պոտենցիալների տարբերություն կիրառելիս, այսինքն՝ երբ նրանում ստեղծվում է էլեկտրական դաշտ: Էլեկտրական դաշտը յուրաքանչյուր ազատ լիցքի վրա ազդում է որոշակի ուժով, որի շնորհիվ մասնիկները փոխում են իրենց արագությունը: Եթե ազատ մասնիկներն ունեն դրական լիցք, ապա արագության այդ փոփոխությունն ունի էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությունը, բացասական լիցքի դեպքում՝ դաշտի լարվածությանը հակադիր ուղղությունը: Ազատ լիցքերի շարժումն արդեն լրիվ քաոսային չէ. ջերմային շարժման հետ մեկտեղ նրանք կատարում են ուղղորդված, կարգավորված շարժում (նկ.29,բ): Նման դեպքում ասում են, որ հաղորդչով էլեկտրական հոսանք է անցնում:

Լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժումը, որի արդյունքում տեղի է ունենում լիցքի տեղափոխություն, կոչվում է էլեկտրական հոսանք:

Մետաղներում էլեկտրական հոսանք առաջացնող մասնիկներն ազատ էլեկտրոններն են, էլեկտրոլիտներում՝ դրական և բացասական իոնները, իսկ իոնացված գազերում՝ էլեկտրոնները, դրական իոնները և մասամբ՝ բացասական իոնները: Վակուումում պրոտոնային կամ էլեկտրոնային փնջերի ուղղորդված շարժումը նույնպես էլեկտրական հոսանք է:

Որպես ***հոսանքի ուղղություն*** պայմանականորեն ընդունված է դրականապես լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման ուղղությունը: Եթե հոսանքը պայմանավորված է բացասականապես լիցքավորված մասնիկների շարժմամբ, ինչպես մետաղներում է, ապա հոսանքի ուղղությունը հակադիր է մասնիկների ուղղորդված շարժման ուղղությանը:



Նկ. 29

Հոսանքի գոյության անհրաժեշտ պայմանները: Էլեկտրական հոսանք ստանալու համար նախ անհրաժեշտ է, որ նյութում լինեն լիցքավորված ազատ մասնիկներ, այլ խոսքով՝ անհրաժեշտ է, որ նյութը լինի հաղորդիչ: Բայի այդ, ազատ լիցքակիրներին կարգավորված շարժում հաղորդելու համար հաղորդչում անհրաժեշտ է նաև էլեկտրական դաշտի առկայություն: Եթե ուղղորդված շարժում կատարող մաս-

նիկները միջավայրում խոչընդոտների չհանդիպեին, ապա էլեկտրական դաշտ չէր պահանջվի: Սակայն իրականում ազատ լիցքակիրներն անընդհատ բախվում են միջավայրի ատոմներին ու իոններին: Յուրաքանչյուր բախումից հետո մասնիկները թռչում են պատահական ուղղություններով, որի արդյունքում նրանց ուղղորդված շարժումը փոխակերպվում է անկանոն (ջերմային) շարժման: Որպեսզի մասնիկները որոշակի ուղղությամբ անընդհատ ուղղորդված շարժում կատարեն, անհրաժեշտ է, որ նրանց վրա այդ ուղղությամբ անընդհատ ուժ ազդի, այսինքն՝ հաղորդչում առկա լինի էլեկտրական դաշտ:

Վերը նշված երկու պայմաններից մեկի բացակայության դեպքում նյութում էլեկտրական հոսանք չի կարող առաջանալ: Օրինակ՝ մետաղալարում կան ազատ էլեկտրոններ, սակայն նրանում հոսանք չի առաջանում, քանի դեռ նրա ծայրերին չենք կիրառել պոտենցիալների տարբերություն: Եվ, հակառակը, եթե չոր փայտի ծայրերին կիրառենք պոտենցիալների տարբերություն, ապա նրանով հոսանք չի անցնի, քանի որ չոր փայտում ազատ լիցքակիրներ չկան:

Հոսանքի ազդեցությունները: Ինչպե՞ս պարզել՝ հաղորդչով հոսանք անցնո՞ւմ է, թե՞ ոչ, չէ՞ որ հոսանքն առաջացնող մասնիկների՝ էլեկտրոնների կամ իոնների տեղափոխությունն անմիջականորեն տեսնել հնարավոր չէ: Էլեկտրական հոսանքի գոյության մասին կարելի է դատել այն ազդեցություններով, որոնք տեղի են ունենում հաղորդչով հոսանք անցնելիս:

Հաղորդչով էլեկտրական հոսանք անցնելիս այն տաքանում է, այսինքն՝ հոսանքն ունի ***ջերմային ազդեցություն:***

Հոսանքը կարող է ունենալ ***քիմիական ազդեցություն:*** Էլեկտրոլիտով, օրինակ՝ աղերի, թթուների և հիմքերի ջրային լուծույթներով հոսանք անցնելիս դիտվում է նյութի քիմիական բաղադրության փոփոխություն: Կամ, օրինակ, պղնձարջասպի ջրային լուծույթով հոսանք անցնելիս լուծույթի մեջ իջեցված բացասական էլեկտրոդի վրա անջատվում է պղինձ:

Եվ վերջապես, հոսանքն ունի ***մագնիսական ազդեցություն:*** Հաղորդալարով հոսանք անցնելիս նրա մոտ տեղադրված մագնիսական սլաքը շեղվում է իր սկզբնական դիրքից:

Նշված երեք ազդեցություններից առավել ընդհանուրը մագնիսականն է: Քիմիական ազդեցությունը հանդես է գալիս ոչ բոլոր հաղորդիչներում: Օրինակ՝ էլեկտրական հոսանքը մետաղներում քիմիական ազդեցություն չի թողնում: Կախված նյութի վիճակից՝ կարող է բացակայել նաև հոսանքի ջերմային ազդեցությունը: Օրինակ՝ որոշ նյութեր շատ ցածր ջերմաստիճաններում անցնում են, այսպես կոչված, գերհաղորդիչ վիճակի, երբ հաղորդիչը հոսանքի ազդեցությամբ ընդհանրապես չի տաքանում: Մագնիսական ազդեցությունը, ի տարբերություն առաջին երկուսի, միշտ ի հայտ է գալիս՝ անկախ հաղորդչի վիճակից և հատկություններից:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպե՞ս են հաղորդչում շարժվում լիցքավորված ազատ մասնիկները էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում:*
2. *Ինչպե՞ս են հաղորդչում շարժվում լիցքավորված ազատ մասնիկները էլեկտրական դաշտի առկայությամբ:*
3. *Ի՞նչն են անվանում էլեկտրական հոսանք:*
4. *Որո՞նք են էլեկտրական հոսանքի գոյության անհրաժեշտ պայմանները:*
5. *Ի՞նչ ազդեցություններ ունի էլեկտրական հոսանքը:*

§ 20. Հաստատուն էլեկտրական հոսանք: Հոսանքի ուժ

Միավոր ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցած լիցքի քանակը ժամանակի ընթացքում կարող է փոփոխվել կամ մնալ հաստատուն:

Հոսանքը կոչվում է հաստատուն, եթե հաղորդչի լայնական հատույթով ցանկացած հավասար ժամանակամիջոցներում անցնում է լիցքի միևնույն քանակությունը:

Էլեկտրական հոսանքի քանակական բնութագրիչը ***հոսանքի ուժ*** կոչվող ֆիզիկական մեծությունն է: ***Հաստատուն հոսանքի ուժ կոչվում է այն սկալյար մեծությունը, որը հավասար է հաղորդչի լայնական հատույթով անցած լիցքի և այն ժամանակամիջոցի հարաբերությանը, որի ընթացքում այդ լիցքն անցել է:***

Եթե Δt ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցնում է Δq լիցք, ապա հոսանքի ուժը՝

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}: \qquad (2.1)$$

Համաձայն այս սահմանման՝ հոսանքի ուժը թվապես հավասար է միավոր ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցած լիցքին:

Եթե հայտնի է հաստատուն հոսանքի ուժը, ապա որևէ Δt ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցած լիցքը կորոշվի $\Delta q = I\Delta t$ բանաձևով:

Միավորների ՄՀ-ում հոսանքի ուժի միավորը մեկ ամպերն է (1Ա՝ ի պատիվ ֆրանսիացի ֆիզիկոս Ամպերի), որը հիմնական միավոր է և սահմանվում է հոսանքակիր հաղորդիչների մագնիսական փոխազդեցության հիման վրա (նկ. 30):

Հոսանքի ուժը հավասար է 1 ամպերի, եթե վակուումում իրարից 1 մ հեռավորության վրա գտնվող երկու անվերջ երկար և անվերջ բարակ հաղորդալարերով անցնելիս նրանցից յուրաքանչյուրի 1 մ երկարությամբ հատվածի վրա մյուսի կողմից ազդում է $2\cdot10^{-7}$ Ն ուժ:

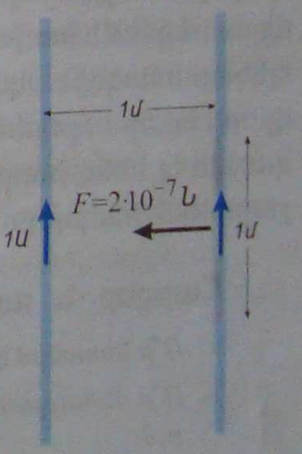
Հոսանքի ուժը կախված է հոսանքն առաջացնող լիցքակիրների ուղղորդված շարժման v միջին արագությունից, n կոնցենտրացիայից, յուրաքանչյուր մասնիկի q_0 լիցքի մեծությունից և հաղորդչի լայնական հատույթի S մակերեսից:

Ստանանք այդ կախումն արտահայտող բանաձևը:

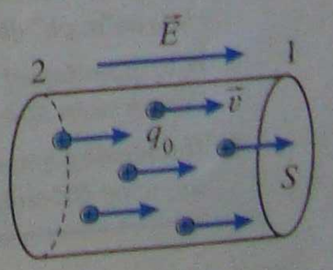
Դիցուք՝ գլանաձև հաղորդչում լիցքավորված մասնիկներն ուղղորդված շարժման v միջին արագությամբ տեղափոխվում են ձախից աջ ուղղությամբ (նկ. 31):

Δt ժամանակամիջոցում հաղորդչի 1 հատույթով կանցնեն այն բոլոր լիցքավորված մասնիկները, որոնք այդ հատույթից գտնվում են ոչ ավելի, քան $\Delta l = v\Delta t$ հեռավորության վրա, այսինքն՝ 1 և 2 հատույթներով սահմանափակված գլանի ներսում, որի ծավալը $v\Delta tS$ է: Այդ ծավալում լիցքավորված մասնիկների թիվը $v\Delta tSn$ է, իսկ ընդհանուր լիցքը՝ $\Delta q = q_0 nv\Delta tS$: Տեղադրելով այս արտահայտությունը (2.1) բանաձևի մեջ, կստանանք՝

$$I = q_0 nvS: \qquad (2.2)$$



Նկ. 30



Նկ. 31

(2.2) բանաձևը թույլ է տալիս հաշվարկել լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման միջին արագությունը: Ենթադրենք՝ $S = 1\text{մմ}^2 = 10^{-6}\ \text{մ}^2$ լայնական հատույթի մակերես ունեցող պղնձե հաղորդալարով անցնող հոսանքի ուժը 1Ա է: Հաշվի առնելով, որ էլեկտրոնի լիցքի մոդուլը՝ $q_0 = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Կլ, իսկ պղնձում ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիան՝ $n = 10^{29}\ \text{մ}^{-3}$ կարգի մեծություն է, ուղղորդված շարժման միջին արագության համար կստանանք՝

$$v = \frac{I}{enS} = \frac{1}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{29} \cdot 10^{-6}} \frac{\text{մ}}{\text{վ}} \approx 6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{մ}}{\text{վ}};$$

Գնահատենք նաև այդ էլեկտրոնների ջերմային (անկանոն) շարժման միջին $\overline{v}_T$ արագությունը՝ օգտվելով մոլեկուլային-կինետիկ տեսության $\overline{v}_T = \sqrt{3k_B T / m_e}$ բանաձևից: Տեղադրելով Բոլցմանի հաստատունի $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Ջ/Կ, էլեկտրոնի զանգվածի $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ կգ արժեքները՝ $T = 300$ Կ ջերմաստիճանում կստանանք՝ $\overline{v}_T \approx 10^5$ մ/վ: Այս արագությունը մոտ միլիարդ անգամ մեծ է էլեկտրոնների ուղղորդված շարժման միջին արագությունից: Դա նշանակում է, որ էլեկտրական հոսանքը լիցքավորված մասնիկների պարզ ուղղորդված շարժում չէ: Իրականում մասնիկները, մեծ արագություններով անկանոն քաոսային շարժում կատարելով, միաժամանակ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ դանդաղ տեղափոխվում են հաղորդչի երկայնքով՝ վայրկյանում անցնելով միլիմետրի տասնորդական մասերի կարգի հեռավորություն:

Լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման արագության այսպիսի փոքր արժեքը բնավ չի հակասում այն փաստին, որ շղթան փակելիս հոսանքի աղբյուրից մեծ հեռավորության վրա գտնվող էլեկտրալամպը գործնականում նույն պահին սկսում է լուսարձակել: Լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման արագությունը չպետք է շփոթել հաղորդչում ***հոսանքի տարածման արագության*** հետ: Վերջինս էլեկտրամագնիսական դաշտի տարածման արագությունն է հաղորդիչը շրջապատող միջավայրում և հավասար է նրանում լույսի տարածման արագությանը: Շղթան փակելիս էլեկտրամագնիսական դաշտը շատ արագ տարածվում է հաղորդչի երկայնքով, ուստի գրեթե ակնթարթորեն վերաբաշխում է նրա մակերևույթի լիցքերը, որոնց էլեկտրական դաշտն էլ հենց հաղորդչի բոլոր տեղամասերում ազատ լիցքակիրներին ուղղորդված շարժում է հաղորդում գրեթե միաժամանակ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր հոսանքն է կոչվում հաստատուն:*
2. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում հոսանքի ուժ:*
3. *Ինչպիսի՞ մեծություն է հոսանքի ուժը՝ սկալյա՞ր, թե՞ վեկտորական:*
4. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում հոսանքի ուժը միավորների ՄՀ-ում:*
5. *Սահմանե՛ք հոսանքի ուժի միավորը միավորների ՄՀ-ում:*
6. *Ինչպե՞ս է կախված հոսանքի ուժն ազատ լիցքակիրների ուղղորդված շարժման միջին արագությունից և կոնցենտրացիայից:*
7. *Որտե՞ղ է էլեկտրոնների ուղղորդված շարժման արագությունն ավելի մեծ՝ լուսարձակող էլեկտրալամպի բարակ թելիկու՞մ, թե՞ լամպը սնող հաստ հաղորդալարում:*

§ 21. Օհմի օրենքը շղթայի տեղամասի համար: Էլեկտրական դիմադրություն

Հաղորդչում էլեկտրական հոսանք ստեղծելու համար անհրաժեշտ է նրա ծայրերին կիրառել պոտենցիալների տարբերություն (լարում): Որքան մեծ է կիրառված լարումը, այնքան մեծ է հաղորդչում առաջացած էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, էլեկտրական դաշտն այնքան մեծ ուժով է ազդում ազատ լիցքակիրների վրա, լիցքակիրներն ուղղորդված շարժման ավելի մեծ արագություն են ձեռք բերում և, հետևաբար, մեծ է հոսանքի ուժը: Այս դատողություններից հետևում է, որ հոսանքի ուժը կախված է լարումից: Տարբեր միջավայրերում այդ կախվածության տեսքը տարբեր է: Մետաղե հաղորդիչներում հոսանքի ուժի կախումը լարումից առաջին անգամ փորձնական ճանապարհով հայտնաբերել է գերմանացի ֆիզիկոս Գ.Օհմը, ուստի այն կրում է Օհմի օրենք անվանումը:

Նկ. 32-ում պատկերված շղթայի տեղամասի a և b ծայրերին կիրառենք որոշակի հաստատուն լարում և վոլտմետրով ու ամպերմետրով չափենք լարման և հոսանքի ուժի արժեքները: Այնուհետև, փոփոխելով լարման արժեքը և ամեն անգամ չափելով հոսանքի ուժը, կհամոզվենք, որ քանի անգամ մեծացնում ենք լարումը, նույնքան անգամ մեծանում է հոսանքի ուժը: Այսինքն՝ ***հոսանքի ուժը շղթայի տեղամասում ուղիղ համեմատական է նրա ծայրերին կիրառված լարմանը:*** Սա էլ հենց Օհմի օրենքն է շղթայի տեղամասի համար:

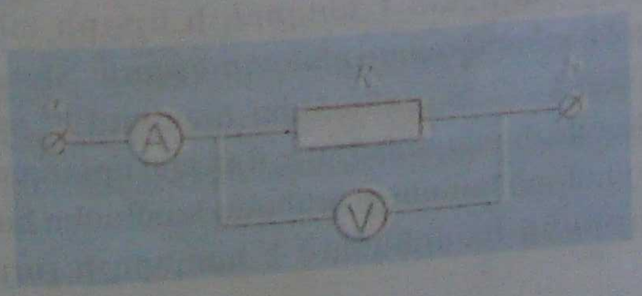
Եթե հոսանքի ուժը նշանակենք I-ով, լարումը՝ U-ով, իսկ համեմատականության գործակիցը՝ g-ով, ապա կարող ենք գրել՝

$$I = gU: \qquad (2.3)$$

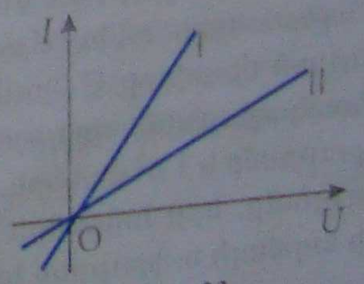
Եթե երկու հաղորդիչներից մեկի համար g համեմատականության գործակիցն ավելի մեծ արժեք, ապա միևնույն լարման դեպքում այդ հաղորդչով ավելի մեծ հոսանք է անցնում, այսինքն՝ այդ հաղորդիչն էլեկտրական հոսանք հաղորդելու ավելի մեծ ունակություն ունի: Ահա թե ինչու g համեմատականության գործակիցն անվանում են ***էլեկտրահաղորդականություն:*** Որքան մեծ է էլեկտրահաղորդականությունը, այնքան ավելի թույլ է հաղորդչի հակազդեցությունը հոսանքին: Այդ պատճառով էլեկտրահաղորդականության հակադարձ մեծությունն անվանում են հաղորդչի ***դիմադրություն:***

Եթե դիմադրությունը նշանակենք R տառով և հաշվի առնենք, որ $g = 1/R$, ապա Օհմի օրենքը շղթայի տեղամասի համար կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$\boxed{I = \frac{U}{R}} \qquad (2.4)$$



Նկ. 32



Նկ. 33

Օհմ Գեորգ Սիմոն (1787 - 1854)

Գերմանացի ֆիզիկոս, փորձնականորեն ստեղծել է էլեկտրական շղթայի հիմնական օրենքը և տվել դրա տեսական հիմնավորումը: Բացահայտել է դիմադրության կախման բնույթը հաղորդչի երկարությունից և լայնական հատույթի մակերեսից:

(2.4) բանաձևից հետևում է, որ միևնույն լարման դեպքում հոսանքի ուժն ավելի մեծ է այն հաղորդչում, որի դիմադրությունն ավելի փոքր է:

Հաղորդչում հոսանքի ուժի կախումը լարումից պատկերող գրաֆիկը կոչվում է հաղորդչի ***վոլտ-ամպերային բնութագիծ:*** Համաձայն Օհմի օրենքի՝ մետաղե հաղորդիչների վոլտ-ամպերային բնութագիծն ուղիղ գիծ է, որն անցնում է կոորդինատների սկզբնակետով:

Նկ. 33-ում պատկերված են երկու տարբեր դիմադրություններ ունեցող մետաղե հաղորդիչների վոլտ-ամպերային բնութագծերը: Գրաֆիկներից հետևում է, որ լարման նույն արժեքի դեպքում հոսանքի ուժն I հաղորդչում ավելի մեծ է, քան II-ում: Դա նշանակում է, որ առաջին հաղորդչի դիմադրությունն ավելի փոքր է, քան երկրորդինը՝ $R_1 < R_2$:

Դիմադրություն: Դիմադրությունը հաղորդչի էլեկտրական հատկությունները բնութագրող հիմնական մեծություններից է: Այն հաղորդչի կողմից ազատ լիցքակիրների ուղղորդված շարժմանը ցույց տրվող դիմադրության քանակական չափն է:

Միավորների ՄՀ-ում դիմադրության միավորը 1 Օմ-ն է՝ ի պատիվ գերմանացի ֆիզիկոս Օհմի: Այն սահմանվում է ըստ Օհմի օրենքի՝ $[R] = [U] / [I] = 1Վ/1Ա = 1Օմ$:

1 Օմ-ն այն հաղորդչի դիմադրությունն է, որի ծայրերին 1Վ լարում կիրառելիս նրանով անցնող հոսանքի ուժը 1Ա է՝ 1Օմ = 1Վ/Ա:

Դիմադրությունը կախված է հաղորդչի չափերից, այն նյութի տեսակից, որից պատրաստված է հաղորդիչը, և ջերմաստիճանից:

Հաղորդչի դիմադրությունը կարելի է որոշել Օհմի օրենքից բխող $R = U/I$ բանաձևով՝ չափելով հաղորդչի ծայրերին կիրառված U լարումը և նրանով անցնող I հոսանքի ուժը: Այս եղանակով որոշելով տարբեր երկարություն և լայնական հատույթի տարբեր մակերես ունեցող համասեռ հաղորդիչների դիմադրությունները, կարելի է համոզվել, որ դիմադրությունն ուղիղ համեմատական է հաղորդչի l երկարությանը և հակադարձ համեմատական է նրա լայնական հատույթի S մակերեսին, այսինքն՝

$$R = \rho \frac{l}{S}: \qquad (2.5)$$

ρ համեմատականության գործակիցը կախված է հաղորդչի նյութի տեսակից, վիճակից և ջերմաստիճանից: Այն կոչվում է ***տեսակարար դիմադրություն:*** Տեսակարար դիմադրության միավորը ՄՀ-ում 1 Օմ·մ-ն է: (2.5) բանաձևից հետևում է, որ տվյալ նյութի տեսակարար դիմադրությունը թվապես հավասար է այդ նյութից պատրաստված 1 մ երկարությամբ և 1 մ^2 մակերեսով լայնական հատույթ ունեցող համասեռ հաղորդչի դիմադրությանը, երբ հոսանքի ուղղությունը համընկնում է հաղորդչի լայնական հատույթի նորմալի ուղղության հետ:

Փորձով որևէ նյութի տեսակարար դիմադրությունը որոշելու համար պարտադիր չէ անպայման վերցնել 1 մ երկարությամբ և 1 մ² լայնական հատույթի մակերեսով հաղորդիչ: Կարելի է վերցնել կամենգված երկարությամբ և լայնական հատույթի մակերես ունեցող պատրաստի հաղորդիչ, չափել նրա դիմադրությունը և $\rho = RS/l$ բանաձևով հաշվել տեսակարար դիմադրությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ձևակերպե՛ք Օհմի օրենքը շղթայի տեղամասի համար:
2. Միևնույն լարման դեպքում երկու հաղորդիչներից որո՞մ է հոսանքի ուժն ավելի մեծ:
3. Ի՞նչ տեսք ունի մետաղե հաղորդչի վոլտ-ամպերային բնութագիծը:
4. Ի՞նչ մեծություններից է կախված հաղորդչի դիմադրությունը:
5. Ո՞ր մեծությունն են անվանում տեսակարար դիմադրություն:
6. Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում տեսակարար դիմադրությունը միավորների ՄՀ-ում:
7. Օհմի օրենքի համաձայն՝ մետաղե հաղորդչի դիմադրությունը՝ $R = U/I$: Դա արդյոք նշանակո՞ւմ է, որ դիմադրությունը կախված է հոսանքի ուժից ու լարումից:

§22. Լաբորատոր աշխատանք N1. Հաղորդչի տեսակարար դիմադրության որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով որոշել մետաղալարի տեսակարար դիմադրությունը:

Չափամիջոցներ. 1. ամպերմետր (0÷2 Ա սանդղակով և 0,1 Ա բաժանման արժեքով), 2. վոլտմետր (0÷6 Վ սանդղակով, 0,2 Վ բաժանման արժեքով և $R = 900$ Օմ ներքին դիմադրությամբ), 3. չափերիզ (150 սմ երկարությամբ), 4. միկրոմետր (25 մմ չափման սահմանով և 0,01 մմ բաժանման արժեքով) կամ ձողակարկին (150 մմ չափման սահմանով և 0,1 մմ բաժանման արժեքով):

Նյութեր և սարքեր. 1. հոսանքի աղբյուր (ակումուլյատոր կամ գրպանի լապտերի մարտկոց), 2. նիքրոմի կամ մեծ տեսակարար դիմադրություն ունեցող այլ նյութի մետաղալար՝ 65÷70 սմ երկարությամբ, 0,5 մմ տրամագծով և մետաղե ծայրապանակներով, 3. անջատիչ, 4. միացնող հաղորդալարեր:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Չափել նիքրոմի հաղորդալարի l երկարությունը և d տրամագիծը: Լարի տրամագծի չափումն ավելի ճշգրիտ դարձնելու նպատակով կարելի է գլանի վրա կիպ փաթաթված լարի մի քանի գալարների լայնությունը բաժանել գալարների քվի վրա:
2. Հավաքել շղթա՝ հաջորդաբար միացնելով հոսանքի աղբյուրը, մետաղալարը, ամպերմետրը և անջատիչը: Մետաղալարին զուգահեռ միացնել վոլտմետրը:
3. Չափել մետաղալարի վրա կիրառված U լարումը և նրանում I հոսանքի ուժը:
4. Մետաղալարի տեսակարար դիմադրությունը որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{\pi R d^2}{4l} = \frac{\pi U d^2}{4Il}:$$

§ 23. Դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից

Երբ մետաղե հաղորդչի ծայրերին կիրառենք հաստատուն լարում և այն տա-րակուսանք, ապա կստացվի, որ տարբերանք գոյքերաց հոսանքի ուժը նրանում ստիճանապատ նվազում է: Դա նշանակում է, որ ջերմաստիճանը բարձրացնելիս մետաղե հաղորդչի դիմադրությունն աճում է: Էլեկտրոնիներում և կիսահաղորդիչներում դիմումն է հակառակ երևույթը. ջերմաստիճանը բարձրացնելիս դիմադրությունը նվազում է: Հաղորդչի դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից դիտում է բոլոր հաղորդիչներում, սակայն կախված նյութի տեսակից և վիճակից՝ այն տարբեր բնույթ ունի:

Երբ հաղորդչի դիմադրությունը 0°C ջերմաստիճանում նշանակենք R_0-ով, իսկ t°C ջերմաստիճանում՝ R-ով, ապա դիմադրության հարաբերական փոփոխությունը 0°C-ից մինչև t°C տարբերության կլինի $(R-R_0)/R_0$:

Փորձը ցույց է տալիս, որ մետաղե հաղորդիչների դիմադրության հարաբերական փոփոխությունը մեծությունից ոչ և ավելի բարձր ջերմաստիճաններում ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանի փոփոխությանը, այսինքն՝

$$\frac{R-R_0}{R_0}=\alpha t: \qquad (2.6)$$

Համեմատականության α գործակիցը կոչվում է *դիմադրության ջերմաստիճանային գործակից:* Այն թվապես հավասար է հաղորդիչը 1°C-ով տաքացնելիս դիմադրության հարաբերական փոփոխությանը: (2.6) բանաձևից երևում է, որ α-ն արտահայտվում է $^{\circ}C^{-1}$ միավորով: Տարբեր մետաղների և համաձուլվածքների համար այն ընդունում է տարբեր արժեքներ, սակայն մարտ մետաղների համար $\alpha\approx 1/273\,^{\circ}C^{-1}$: (2.6) առնչությունը հարմար է ներկայացնել

$$\boxed{R=R_0(1+\alpha t)} \qquad (2.7)$$

տեսքով: Երբ հայտնի է հաղորդչի R_0 դիմադրությունը 0°C -ում և հաղորդչի նյութի դիմադրության ջերմաստիճանային α գործակիցը, ապա (2.7) բանաձևի օգնությամբ կարելի է հաշվել հաղորդչի R դիմադրությունը t ջերմաստիճանում: Կարելի է լուծել նաև հակադարձ խնդիրը՝ գտնել հաղորդչի ջերմաստիճանը, երբ հայտնի են α, R_0 և R մեծությունները կամ, ընդհանուր դեպքում, $R(t)$ կախումը, որը հատկապես մեծ ջերմաստիճաններում կարող է տապես տարբերվել (2.7) գծային կախումից: $R(t)$ դիմադրությունը կարելի է հաշվել Օհմի օրենքի օգնությամբ՝ չափելով հոսանքի ուժը և լարումը ($R=U/I$): Այս սկզբունքով աշխատող ջերմաչափերն օգտագործում են շատ բարձր և շատ ցածր ջերմաստիճաններ չափելու համար, երբ հեղուկային ջերմաչափերը կիրառելի չեն:

Ջերմաստիճանից դիմադրության կախման գրաֆիկը տրված է նկարում և համապատասխանում է հետևյալ բանաձևերին՝

$$R_0=\rho_0\frac{l}{S},\quad R=\rho\frac{l}{S}:$$

Համեմատականության α գործակից

յին գործակից: Այն թվապես հավասար է հաղորդիչը 1°C-ով տաքացնելիս դիմադրության հարաբերական փոփոխությանը: (2.6) բանաձևից երևում է, որ α-ն արտահայտվում է $К^{-1}$ միավորով: Տարբեր մետաղների և համաձուլվածքների համար այն ընդունում է տարբեր արժեքներ, սակայն մաքուր մետաղների համար $\alpha \approx 1/273\ К^{-1}$: (2.6) առնչությունը հարմար է ներկայացնել

$$R = R_0(1 + \alpha t) \qquad (2.7)$$

տեսքով: Եթե հայտնի է հաղորդչի R_0 դիմադրությունը 0°C -ում և հաղորդչի նյութի դիմադրության ջերմաստիճանային α գործակիցը, ապա (2.7) բանաձևի օգնությամբ կարելի է հաշվել հաղորդչի R դիմադրությունը t ջերմաստիճանում: Կարելի է լուծել նաև հակադարձ խնդիրը՝ գտնել հաղորդչի ջերմաստիճանը, եթե հայտնի են α, R_0 և R մեծությունները կամ, ընդհանուր դեպքում, $R(t)$ կախումը, որը հատկապես կարևոր ջերմաստիճաններում կարող է էապես տարբերվել (2.7) գծային կախումից: $R(t)$ դիմադրությունը կարելի է հաշվել Օհմի օրենքի օգնությամբ՝ չափելով հոսանքի ուժն ու լարումը ($R = U/I$): Այս սկզբունքով աշխատող ջերմաչափերն օգտագործում են շատ բարձր և շատ ցածր ջերմաստիճաններ չափելու համար, երբ հեղուկային ջերմաչափերը կիրառելի չեն:

Ջերմաստիճանը փոփոխելիս հաղորդչի չափերի փոփոխությունները կարելի է անտեսել և համարել, որ

$$R_0 = \rho_0 \frac{l}{S},\quad R = \rho \frac{l}{S}:$$

Եթե մետաղե հաղորդչի ծայրերին կիրառենք հաստատուն լարում և այն տաքացնենք, ապա կպարզվի, որ տաքացմանը զուգընթաց հոսանքի ուժը նրանում աստիճանաբար նվազում է: Դա նշանակում է, որ ջերմաստիճանը բարձրացնելիս մետաղե հաղորդչի դիմադրությունն աճում է: Էլեկտրոլիտներում և կիսահաղորդիչներում դիտվում է հակառակ երևույթը. ջերմաստիճանը բարձրացնելիս դիմադրությունը նվազում է: Հաղորդչի դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից դիտվում է բոլոր հաղորդիչներում, սակայն կախված նյութի տեսակից և վիճակից՝ այն տարբեր բնույթ ունի:

Եթե հաղորդչի դիմադրությունը 0°C ջերմաստիճանում նշանակենք R_0-ով, իսկ t°C ջերմաստիճանում՝ R-ով, ապա դիմադրության հարաբերական փոփոխությունը 0°C-ից մինչև t°C տաքացնելիս կլինի $(R-R_0)/R_0$:

Փորձը ցույց է տալիս, որ մետաղե հաղորդիչների դիմադրության հարաբերական փոփոխությունը սենյակայինին մոտ և ավելի բարձր ջերմաստիճաններում ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանի փոփոխությանը, այսինքն՝

$$\frac{R-R_0}{R_0}=\alpha t: \qquad (2.6)$$

Համեմատականության α գործակիցը կոչվում է ***դիմադրության ջերմաստիճանային գործակից:*** Այն թվապես հավասար է հաղորդիչը 1°C-ով տաքացնելիս դիմադրության հարաբերական փոփոխությանը: (2.6) բանաձևից երևում է, որ α-ն արտահայտվում է Կ^{-1} միավորով: Տարբեր մետաղների և համաձուլվածքների համար այն ընդունում է տարբեր արժեքներ, սակայն մաքուր մետաղների համար $\alpha \approx 1/273\ \text{Կ}^{-1}$: (2.6) առնչությունը հարմար է ներկայացնել

$$\boxed{R=R_0(1+\alpha t)} \qquad (2.7)$$

տեսքով: Եթե հայտնի է հաղորդչի R_0 դիմադրությունը 0°C -ում և հաղորդչի նյութի դիմադրության ջերմաստիճանային α գործակիցը, ապա (2.7) բանաձևի օգնությամբ կարելի է հաշվել հաղորդչի R դիմադրությունը t ջերմաստիճանում: Կարելի է լուծել նաև հակադարձ խնդիրը՝ գտնել հաղորդչի ջերմաստիճանը, եթե հայտնի են α, R_0 և R մեծությունները կամ, ընդհանուր դեպքում, $R(t)$ կախումը, որը հատկապես ցածր ջերմաստիճաններում կարող է էապես տարբերվել (2.7) գծային կախումից: $R(t)$ դիմադրությունը կարելի է հաշվել Օհմի օրենքի օգնությամբ՝ չափելով հոսանքի ուժը և լարումը ($R = U/I$): Այս սկզբունքով աշխատող ջերմաչափերն օգտագործում են շատ բարձր և շատ ցածր ջերմաստիճաններ չափելու համար, երբ հեղուկային ջերմաչափերը կիրառելի չեն:

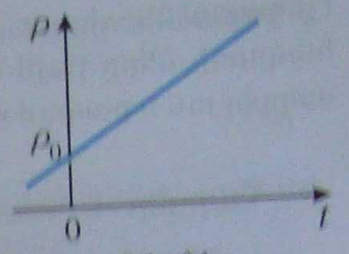
Ջերմաստիճանը փոփոխելիս հաղորդչի չափերի փոփոխությունները կարելի է անտեսել և համարել, որ

$$R_0=\rho_0\frac{l}{S},\quad R=\rho\frac{l}{S}:$$

Այս արտահայտությունները տեղադրելով (2.7) բանաձևի մեջ, կստանանք՝

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)\,,$$

այսինքն՝ մետաղե հաղորդչի տեսակարար դիմադրությունը, ջերմաստիճանից կախված, աճում է գծային օրենքով (նկ. 34):

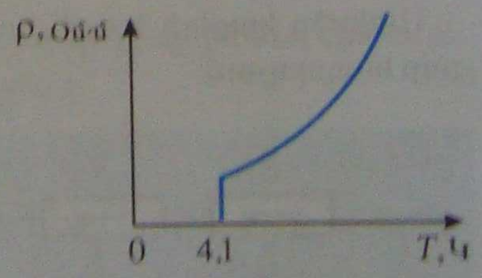


Նկ. 34

§ 24. Գերհաղորդականություն

Ջերմաստիճանն իջնելիս մետաղե հաղորդչի դիմադրությունը փոքրանում է: Տարբեր մաքուր մետաղների տեսակարար դիմադրության չափումների համաձայն՝ ջերմաստիճանը բացարձակ զրոյի ձգտելիս ($T \to 0$ Կ) մետաղե հաղորդչի դիմադրությունը նույնպես պետք է ասymptոտաբար ձգտի զրոյի: Սակայն 1911թ. հոլանդացի ֆիզիկոս Հ.Կամերլինգ-Օննեսը հայտնաբերեց, որ որոշ մաքուր մետաղների դիմադրությունը փոխվում է այլ ձևով: Օրինակ՝ սառեցնելիս սնդիկի դիմադրությունը սկզբում ասymptոտաբար փոքրանում է, իսկ հետո՝ $T = 4{,}1$ Կ ջերմաստիճանում կտրուկ, թռիչքաձև դառնում է հավասար զրոյի (նկ.35): Այս երևույթն անվանվեց ***գերհաղորդականություն:*** Ավելի ուշ հայտնաբերվեցին մի շարք այլ գերհաղորդիչ նյութեր: Դրանցից յուրաքանչյուրի համար գոյություն ունի որոշակի T_c ***կրիտիկական ջերմաստիճան***, որից ցածր ջերմաստիճաններում հաղորդիչը գտնվում է գերհաղորդիչ վիճակում, այսինքն՝ նրա դիմադրությունը հավասար է զրոյի: Եթե գերհաղորդիչ վիճակում գտնվող օղակում ստեղծվի հոսանք, ապա այն կպահպանվի գործնականորեն անվերջ երկար ժամանակ, քանի որ դիմադրության բացակայության հետևանքով ջերմային կորուստները բացակայում են: Այս հիանալի հատկությունների շնորհիվ գերհաղորդիչները լայն կիրառություն կարող են գտնել տեխնիկայում: Սակայն այդ կիրառությունների ոլորտը դեռևս սահմանափակ է, քանի որ գերհաղորդիչ վիճակ սովորաբար դիտվում է շատ ցածր ջերմաստիճաններում (մոտավորապես 25 Կ-ից ցածր):

1986 թվականին շվեյցարացի գիտնականներ Ի.Բեդնորցը և Կ.Մյուլերը հայտնագործեցին ***բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդականությունը***, որի համար 1987 թ. արժանացան Նոբելյան մրցանակի: Հաջողվեց ստանալ նյութեր (լանթանի, բարիումի և այլ տարրերի բարդ օքսիդային միացություններ), որոնք գերհաղորդիչ վիճակի են անցնում բավականաչափ բարձր՝ մոտ 100 Կ (−173°C) ջերմաստիճաններում: Այդ ուղղությամբ տարվող հետազոտությունները շարունակվում են: Ներկայումս սինթեզվել են նյութեր, որոնք գերհաղորդիչ վիճակի են անցնում 162 Կ (−111°C) ջերմաստիճանում:



Նկ. 35

Եթե հաջողվի ստանալ սենյակային ջերմաստիճանում գերհաղորդիչ վիճակի անցնող նյութեր, ապա հեղաշրջում կկատարվի էլեկտրատեխնիկայում, ռադիոտեխնիկայում, հաշվիչ տեխնիկայում: Կստեղծվեն համեմատաբար փոքր չափերով անկորուստ էլեկտրաշարժիչներ, գեներատորներ, հնարավոր կդառնա

էլեկտրաէներգիայի անկորուստ հաղորդումը մեծ հեռավորությունների վրա: Գերհաղորդիչները լայն կիրառություններ կգտնեն հաշվիչ մեքենաներում, ավտոմատ սարքերում և բազում այլ բնագավառներում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպե՞ս է փոխվում մետաղե հաղորդչի դիմադրությունը ջերմաստիճանը բարձրացնելիս:*
2. *Ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի նյութի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար մաքուր մետաղների դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը:*
4. *Ո՞րն է գերհաղորդականության երևույթի էությունը:*
5. *Ո՞ր ջերմաստիճանն են անվանում գերհաղորդչի կրիտիկական ջերմաստիճան:*
6. *Ի՞նչ կիրառություններ կարող է ունենալ բարձրջերմաստիճանային գերհաղորդականության երևույթը:*

§ 25. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումներ

Հոսանքի աղբյուրից սպառիչներին էլեկտրաէներգիա հաղորդելու համար կազմում են տարբեր բարդության էլեկտրական շղթաներ: Էլեկտրական շղթան կազմված է հոսանքի աղբյուրից, էլեկտրաէներգիայի սպառիչներից, միացնող հաղորդալարերից, ինչպես նաև շղթայի տարբեր տեղամասերում միացված չափիչ սարքերից (ամպերմետր, վոլտմետր և այլն):

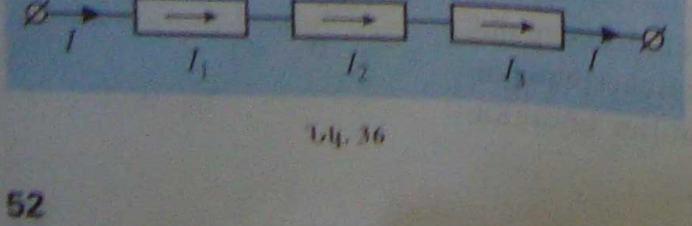
Շղթայում հաղորդիչները միմյանց հետ կարող են միացվել ամենատարբեր եղանակներով: Հաղորդիչների միացման ամենապարզ և ամենատարածված տեսակները հաջորդական և զուգահեռ միացումներն են:

Հաղորդիչների հաջորդական միացում: Հաջորդական միացման դեպքում հաղորդիչները միացվում են հերթով՝ մեկը մյուսի հետևից: Այդ դեպքում շղթայի տեղամասը ճյուղավորումներ չունի: Նկ.36-ում պատկերված է R_1, R_2 և R_3 դիմադրություններ ունեցող երեք հաղորդիչների հաջորդական միացումը:

Քանի որ հաղորդիչներում լիցքի կուտակում տեղի չունի, ապա հաջորդաբար միացված հաղորդիչների լայնական հատույթներով միևնույն ժամանակում անցնում է միևնույն լիցքը: Հետևաբար՝ ***հաջորդական միացման դեպքում բոլոր հաղորդիչներում հոսանքի ուժը միևնույնն է.***

$$I_1 = I_2 = \ldots = I_n; \qquad (2.8)$$

Ավաժը կարելի է նաև հաստատել փորձով՝ չափելով հոսանքի ուժը յուրաքանչյուր հաղորդչում:



Նկ. 36

Հաջորդաբար միացված n հաղորդիչների տեղամասով q լիցքի տեղափոխման աշխատանքը հավասար է առանձին հաղորդիչներով այդ լիցքի տեղափոխման աշխատանքների

գումարին՝ $A = A_1 + A_2 + \cdots + A_n$: Այս հավասարման բոլոր անդամները բաժանելով q լիցքի վրա, կստանանք՝

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n : \qquad (2.9)$$

Այսպիսով՝ ***հաղորդիչների հաջորդական միացման դեպքում ամբողջ տեղամասի լարումը հավասար է առանձին հաղորդիչների լարումների գումարին:***

(2.9) հավասարման բոլոր անդամները բաժանելով I հոսանքի ուժի վրա և հաշվի առնելով (2.8) հավասարումները, կստանանք՝

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n : \qquad (2.10)$$

Հաղորդիչների հաջորդական միացման դեպքում ամբողջ տեղամասի դիմադրությունը հավասար է առանձին հաղորդիչների դիմադրությունների գումարին:

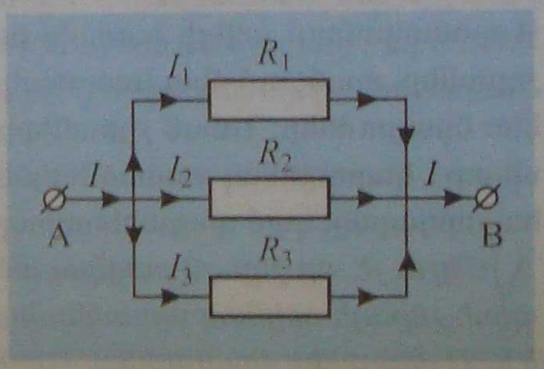
Մասնավորապես, եթե հաջորդաբար միացված բոլոր n հաղորդիչներն ունեն միևնույն R_0 դիմադրությունը, ապա տեղամասի դիմադրությունը՝ $R = nR_0$:

Հաջորդաբար միացված կանոնացած երկու հաղորդիչներում հոսանքի ուժերի հավասարությունից հետևում է, որ $U_1/R_1 = U_2/R_2$, կամ՝

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \qquad (2.11)$$

այսինքն՝ ***հաջորդաբար միացված տեղամասերում լարումներն ուղիղ համեմատական են այդ տեղամասերի դիմադրություններին:***

Հաղորդիչների զուգահեռ միացում: Զուգահեռ միացման դեպքում հաղորդիչների մեկական ծայրերը միացվում են մի կետում, իսկ մյուս ծայրերը՝ մեկ այլ կետում: Այդ կետերը կոչվում են շղթայի հանգույցներ: Նկ.37-ում պատկերված է R_1, R_2 և R_3 դիմադրություններ ունեցող երեք հաղորդիչների զուգահեռ միացումը:



Նկ. 37

Քանի որ հանգույցներում լիցքը չի կուտակվում, ապա միավոր ժամանակում շղթայի հանգույց մտած լիցքը հավասար է հանգույցից դուրս եկած լիցքերի գումարին: Հետևաբար՝ ***զուգահեռ միացման դեպքում հոսանքի ուժը շղթայի չճյուղավորված մասում հավասար է առանձին ճյուղերով անցնող հոսանքի ուժերի գումարին՝***

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n : \qquad (2.12)$$

Քանի որ զուգահեռ միացման դեպքում բոլոր հաղորդիչները միացվում են միևնույն զույգ կետերին, ապա ***լարումը նրանց ծայրերում միևնույնն է՝***

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n : \qquad (2.13)$$

(2.12) հավասարման մեջ տեղադրելով $I = U/R$, $I_1 = U_1/R_1$, ..., $I_n = U_n/R_n$ արտահայտությունները և նկատի ունենալով (2.13) հավասարումները, կստանանք՝

$$\boxed{\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\cdots+\frac{1}{R_n}}\ : \qquad (2.14)$$

Զուգահեռաբար միացված հաղորդիչների լրիվ դիմադրության հակադարձ մեծությունը հավասար է առանձին հաղորդիչների դիմադրությունների հակադարձ մեծությունների գումարին:

Մասնավորապես, զուգահեռաբար միացված երկու հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրության համար (2.14) հավասարումից ստանում ենք՝

$$R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}:$$

Եթե զուգահեռաբար միացված n հաղորդիչներն ունեն միևնույն R_0 դիմադրությունը, ապա (2.14) բանաձևից հետևում է, որ ընդհանուր դիմադրությունը՝ $R=R_0/n$:

Զուգահեռաբար միացված յանկացած երկու հաղորդիչների լարումների հավասարությունից հետևում է, որ $I_1R_1=I_2R_2$ կամ

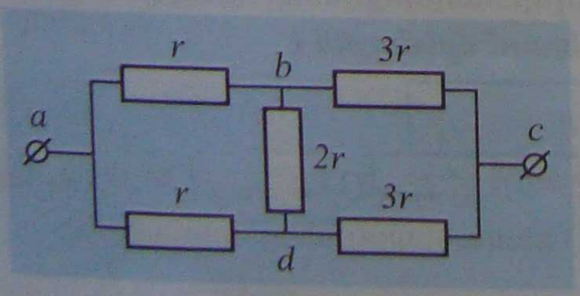
$$\boxed{\frac{I_1}{I_2}=\frac{R_2}{R_1}}, \qquad (2.15)$$

այսինքն՝ ***զուգահեռաբար միացված տեղամասերում հոսանքի ուժերը հակադարձ համեմատական են այդ տեղամասերի դիմադրություններին:***

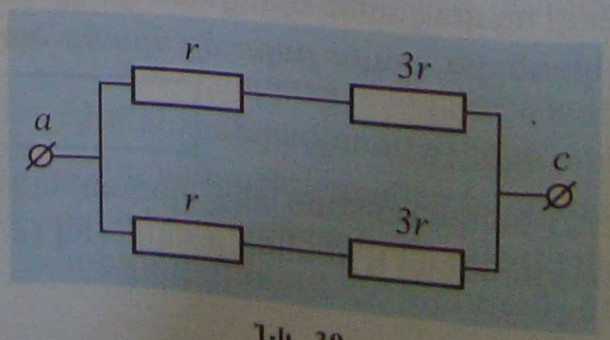
Մենք դիտարկեցինք հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումները: Գործնականում ավելի հաճախ հանդիպում են հաղորդիչների խառը միացումներով շղթաներ, որոնցում միաժամանակ առկա են ինչպես հաջորդական, այնպես էլ զուգահեռ միացումներ: Նման շղթաների ընդհանուր դիմադրությունը հաշվարկելու համար պետք է կարողանալ առանձնացնել այն դիմադրությունները, որոնք իրար միացած են հաջորդաբար կամ զուգահեռաբար:

Միշտ չէ, որ շղթան բաղկացած է հաջորդական և զուգահեռ միացումներից: Այդպիսի շղթայի օրինակ պատկերված է նկ.38-ում: Այս շղթայում չկան ո՛չ հաջորդական և ո՛չ էլ զուգահեռ միացումներ: Առաջին հայացքից պարզ չէ, թե ինչպես կարելի է հաշվել շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը: Նման դեպքերում շատ հաճախ խնդրի լուծմանն օգնում է շղթայի համաչափությունը: Նկ.38-ում պատկերված շղթան համաչափ է ac առանցքի նկատմամբ, որից հետևում է, որ ab և ad ճյուղերում հոսանքի ուժերը, հետևաբար և այդ տեղամասերում լարումները պետք է նույնը լինեն՝

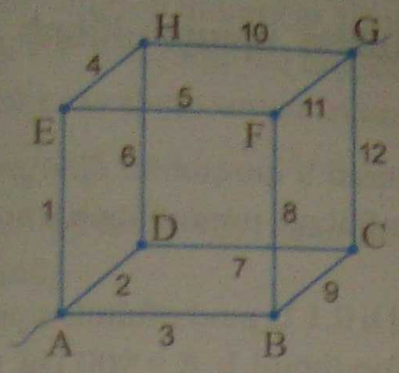
$$\varphi_a-\varphi_b=\varphi_a-\varphi_d, \text{ որտեղից՝ } \varphi_b=\varphi_d:$$



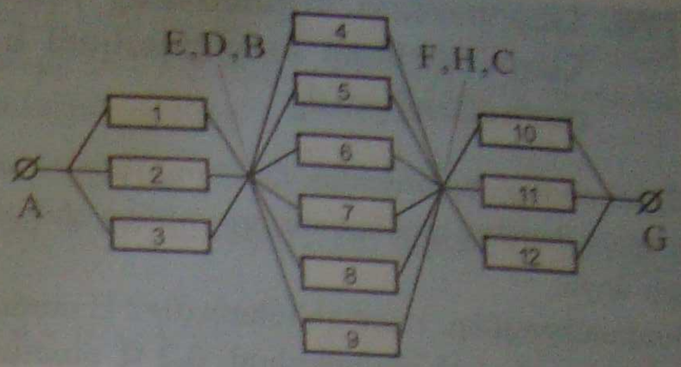
Նկ. 38



Նկ. 39



Նկ. 40



Նկ. 41

Ստացանք, որ b և d կետերի պոտենցիալները նույն են: Քանի որ միևնույն պոտենցիալ ունեցող կետերի միջև հոսանք չի հոսում, ապա դրանք կարելի է անջատել կամ միացնել միմյանց՝ առանց խախտելու հոսանքների բաշխումը շղթայի մնացած տեղամասերում: Անջատելով b և d կետերը՝ կստանանք համարժեք պարզ շղթա (նկ. 39), որի ընդհանուր R դիմադրության հաշվարկը դժվարություն չի ներկայացնում՝

$$R = \frac{r + 3r}{2} = 2r :$$

Քննարկենք ևս մեկ օրինակ: Նկ. 40-ում պատկերված միատեսակ հաղորդալարերից պատրաստված խորանարդի յուրաքանչյուր կողի դիմադրությունն r է: Անհրաժեշտ է գտնել խորանարդի դիմադրությունը A և G կետերի միջև: Շղթայի համաչափությունից հետևում է, որ E, B և D կետերի պոտենցիալները նույնն են: Համապոտենցիալ են նաև F, H, C կետերը: Միացնելով համապոտենցիալ կետերը՝ կստանանք տրված համարժեք նոր շղթա (նկ. 41), որի դիմադրությունը՝

$$R_{AG} = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5r}{6} :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Հաղորդիչների ինչպիսի միացումն է կոչ-*
6. *Ի՞նչ բանակով են հաշվում զուգա-*

F, H, C կետերը: Միայնակով համապատասխան կետերը կատարենք տրված ձեր նոր շղթա (նկ. 41), որի դիմադրությունը՝

$$R_{AG} = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5r}{6};$$

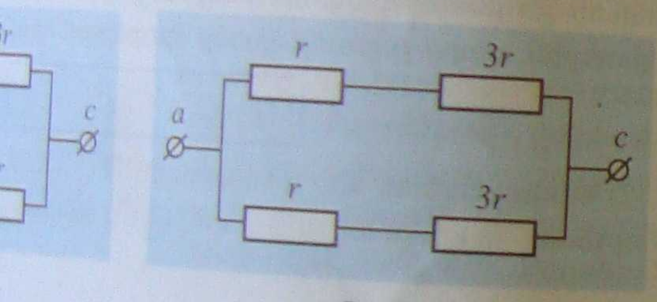
Հարցեր և առաջադրանքներ

միացված տեղամասերում հոսանքի ուժերը հակադարձ
տեղամասերի դիմադրություններին:

հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումները.
ամեն հանդիպում են հաղորդիչների խառը միացումներով
ամանակ առկա են ինչպես հաջորդական, այնպես էլ զուգա-
րանների ընդհանուր դիմադրությունը հաշվարկելու համար
ացնենք այն դիմադրությունները, որոնք իրար միացված են
առաբար:

կցված է հաջորդական և զուգահեռ միացումներից: Այդ-
կերված է նկ.38-ում: Այս շղթայում չկան ոչ հաջորդական
: Առաջին հայացքից պարզ չէ, թե ինչպես կարելի է հաշվել
արյունը: Նման դեպքերում շատ հաճախ խնդրի լուծմանն
արյունը: Նկ.38-ում պատկերված շղթան համաչափ է ac
հետևում է, որ ab և ad ճյուղերում հոսանքի ուժերը,
ղում լարումները պետք է նույնը լինեն՝

$\varphi_b = \varphi_a - \varphi_d$, որտեղից՝ $\varphi_b = \varphi_d$:



Նկ. 39

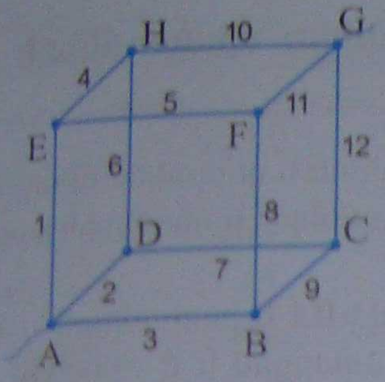
$$R = \frac{r + 3r}{2} = 2r :$$

Քննարկենք ևս մեկ օրինակ: Նկ.40-ում պատկերված միատեսակ հաղորդալարերից պատրաստված խորանարդի յուրաքանչյուր կողի դիմադրությունը r է: Անհրաժեշտ է գտնել խորանարդի դիմադրությունը A և G կետերի միջև: Շղթայի համաչափությունից հետևում է, որ E, B և D կետերի պոտենցիալները նույնն են: Համապոտենցիալ են նաև F, H, C կետերը: Միացնելով համապոտենցիալ կետերը՝ կստանանք տրված-ին համարժեք նոր շղթա (նկ.41), որի դիմադրությունը՝

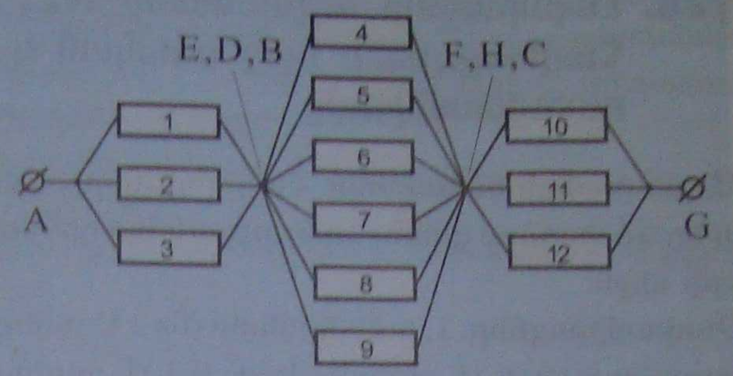
$$R_{AG} = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5r}{6} :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Հաղորդիչների ինչպիսի միացումն է կոչ-
6. Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում զուգա-



Նկ. 40



Նկ. 41

Ստացանք, որ b և d կետերի պոտենցիալները նույն են: Քանի որ միևնույն պոտենցիալն ունեցող կետերի միջև հոսանք չի հոսում, ապա դրանք կարելի է անջատել կամ միացնել միմյանց՝ առանց խախտելու հոսանքների բաշխումը շղթայի մնացած տեղամասերում: Անջատելով b և d կետերը՝ կստանանք համարժեք պարզ շղթա (նկ.39), որի ընդհանուր R դիմադրության հաշվարկը դժվարություն չի ներկայացնում՝

$$R = \frac{r + 3r}{2} = 2r :$$

Քննարկենք ևս մեկ օրինակ: Նկ.40-ում պատկերված միատեսակ հաղորդալարերից պատրաստված խորանարդի յուրաքանչյուր կողի դիմադրությունն r է: Անհրաժեշտ է գտնել խորանարդի դիմադրությունը A և G կետերի միջև: Շղթայի համաչափությունից հետևում է, որ E, B և D կետերի պոտենցիալները նույնն են: Համապոտենցիալ են նաև F, H, C կետերը: Միացնելով համապոտենցիալ կետերը՝ կստանանք տրված համարժեք նոր շղթա (նկ.41), որի դիմադրությունը՝

$$R_{AG} = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5r}{6} :$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Հաղորդիչների ինչպիսի՞ միացումը է կոչվում հաջորդական:
2. Հաղորդիչների ինչպիսի՞ միացումը է կոչվում զուգահեռ:
3. Ո՞ր ֆիզիկական արժեքն է միևնույնը շղթայում հաջորդաբար միացված բոլոր հաղորդիչների համար
4. Ո՞ր ֆիզիկական արժեքը է միևնույնը շղթայում զուգահեռաբար միացված բոլոր հաղորդիչների համար:
5. Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում զուգահեռաբար միացված հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրությունը:
6. Ի՞նչ բանաձևով են հաշվում զուգահեռաբար միացված n հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրությունը:
7. Ինչի՞ է հավասար R դիմադրությամբ հաջորդաբար միացված n հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրությունը:
8. Ինչի՞ է հավասար R դիմադրությամբ զուգահեռաբար միացված n հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրությունը:
9. Ինչպե՞ս են բնականոնների համար զուգահեռաբար միացված կոնդենսատորների ընդհանուր դիմադրությունը:
10. Ապացուցեք, որ երկու զուգահեռաբար միացված հաղորդիչների ընդհանուր դիմադրությունը փոքր է յուրաքանչյուր հաղորդիչի դիմադրությունից:

§ 26. Լաբորատոր աշխատանք N2. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումների ուսումնասիրումը

Աշխատանքի նպատակը. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումների դեպքերում փորձով գտնել առնչություններ դիմադրությունների, լարումների և հոսանքի ուժերի միջև:

Չափամիջոցներ. 1. ամպերմետր (0÷2 Ա սանդղակով և 0,1 Ա բաժանման արժեքով; 2. վոլտմետր (0÷6 Վ սանդղակով, 0,2 Վ բաժանման արժեքով և $R = 900$ Օմ ներքին դիմադրությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. հաստատուն հոսանքի աղբյուր, 2. երկու դիմադրություն, 3. ռեոստատ, 4. միացնող հաղորդալարեր:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Հավաքել շղթա՝ դիմադրությունները հաջորդաբար միացնելով միմյանց:

2. Չափել լարումներն առանձին դիմադրությունների վրա (U_1 և U_2) և դիմադրությունների համակարգի ծայրերին (U):

3. Համոզվել, որ հոսանքի ուժն ամբողջ շղթայում նույնն է: Գրանցել հոսանքի ուժի արժեքը:

4. Հաշվել $R = U/I$, $R_1 = U_1/I$, $R_2 = U_2/I$ արժեքները:

5. Ստուգել հետևյալ առնչությունները՝

$$U = U_1 + U_2, \quad R = R_1 + R_2:$$

6. Հավաքել շղթա՝ դիմադրությունները զուգահեռաբար միացնելով միմյանց:

7. Չափել հոսանքի ուժը շղթայի չճյուղավորված մասում (I) և շղթայի երկու առանձին ճյուղերում (I_1 և I_2):

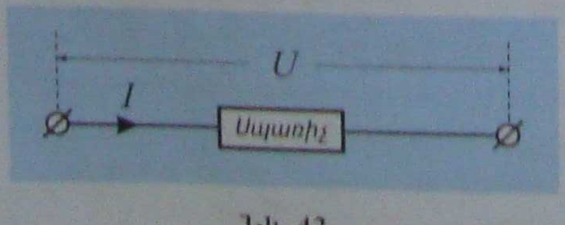
8. Հաշվել $R = U/I$, $R_1 = U/I_1$, $R_2 = U/I_2$ արժեքները:

9. Ստուգել հետևյալ առնչությունները՝

$$I = I_1 + I_2, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}:$$

§ 27. Էլեկտրական հոսանքի աշխատանքն ու հզորությունը: Ջոուլ-Լենցի օրենքը

Հաղորդչով էլեկտրական հոսանք անցնելիս էլեկտրական դաշտը կատարում է աշխատանք՝ ազատ լիցքակիրներին կարգավորված շարժում, հետևաբար՝ նաև կինետիկ էներգիա հաղորդելով: Էլեկտրական դաշտի կատարած այդ աշխատանքն ընդունված է անվանել ***հոսանքի աշխատանք***: Հոսանքի աշխատանքի շնորհիվ էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է էներգիայի այլ տեսակների: Օրինակ՝ ջեռուցիչ սարքերում էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է ջերմային էներգիայի, էլեկտրաշարժիչներում՝ մեխանիկական էներգիայի: Էլեկտրոլիզի ժամանակ էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է քիմիական էներգիայի: Էլեկտրաէներգիան կարող է փոխակերպվել նաև ճառագայթային, լուսային և այլ էներգիաների:



Նկ. 42

§ 26. Լաբորատոր աշխատանք N2. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումների ուսումնասիրումը

Աշխատանքի նպատակը. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումների դեպքերում փորձով գտնել առնչություններ դիմադրությունների, լարումների և հոսանքի ուժերի միջև:

Չափամիջոցներ. 1. ամպերմետր (0÷2 Ա սանդղակով և 0,1 Ա բաժանման արժեքով), 2. վոլտմետր (0÷6 Վ սանդղակով, 0,2 Վ բաժանման արժեքով և $R = 900$ Օմ ներքին դիմադրությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. հաստատուն հոսանքի աղբյուր, 2. երկու դիմադրություն, 3. ռեոստատ, 4. միացնող հաղորդալարեր:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Հավաքել շղթա՝ դիմադրությունները հաջորդաբար միացնելով միմյանց:

2. Չափել լարումներն առանձին դիմադրությունների վրա (U_1 և U_2) և դիմադրությունների համակարգի ծայրերին (U):

3. Համոզվել, որ հոսանքի ուժն ամբողջ շղթայում նույնն է: Գրանցել հոսանքի ուժի արժեքը:

4. Հաշվել $R = U / I$, $R_1 = U_1 / I$, $R_2 = U_2 / I$ արժեքները:

5. Ստուգել հետևյալ առնչությունները՝

$$U = U_1 + U_2, \quad R = R_1 + R_2:$$

6. Հավաքել շղթա՝ դիմադրությունները զուգահեռաբար միացնելով միմյանց:

7. Չափել հոսանքի ուժը շղթայի չճյուղավորված մասում (I) և շղթայի երկու առանձին ճյուղերում (I_1 և I_2):

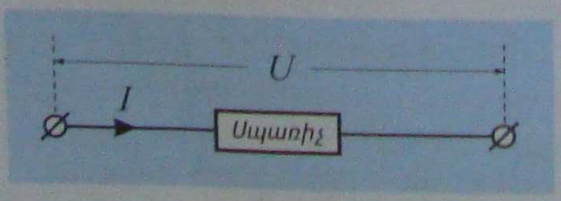
8. Հաշվել $R = U / I$, $R_1 = U / I_1$, $R_2 = U / I_2$ արժեքները:

9. Ստուգել հետևյալ առնչությունները՝

$$I = I_1 + I_2, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}:$$

§ 27. Էլեկտրական հոսանքի աշխատանքն ու հզորությունը: Ջոուլ-Լենցի օրենքը

Հաղորդչով էլեկտրական հոսանք անցնելիս էլեկտրական դաշտը կատարում է աշխատանք՝ ազատ լիցքակիրներին կարգավորված շարժում, հետևաբար՝ նաև կինետիկ էներգիա հաղորդելով: Էլեկտրական դաշտի կատարած այդ աշխատանքն ընդունված է անվանել ***հոսանքի աշխատանք***: Հոսանքի աշխատանքի շնորհիվ էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է էներգիայի այլ տեսակների: Օրինակ՝ ջեռուցիչ սարքերում էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է ջերմային էներգիայի, էլեկտրաշարժիչներում՝ մեխանիկական էներգիայի: Էլեկտրոլիզի ժամանակ էլեկտրաէներգիան փոխակերպվում է քիմիական էներգիայի: Էլեկտրաէներգիան կարող է փոխակերպվել նաև ճառագայթային, լուսային և այլ էներգիաների:



Նկ. 42

Դիտարկենք շղթայի որևէ տեղամաս (նկ.42): Դա կարող է լինել շիկացման լամպ, էլեկտրաշարժիչի փաթույթ, էլեկտրասալիկ կամ մեկ այլ սպառիչ: Դիցուք՝ տեղամասում լարումն U է, և սպառիչով անցնող հոսանքի ուժն I է: Եթե Δt ժամանակում տեղամասով անցնում է Δq լիցք, ապա կատարված աշխատանքը՝

$$A = \Delta q U: \tag{2.16}$$

Հոսանքի ուժի (2.1) բանաձևից՝ $\Delta q = I\Delta t$, ուստի (2.16) արտահայտությունից կստանանք՝

$$\boxed{A = IU\Delta t}\ ; \tag{2.17}$$

Հաստատուն հոսանքի աշխատանքը շղթայի տեղամասում հավասար է հոսանքի ուժի, լարման և այն ժամանակամիջոցի արտադրյալին, որի ընթացքում կատարվել է այդ աշխատանքը:

Աշխատանքի (2.17) բանաձևը թույլ է տալիս հաշվել շղթայի տեղամասում հոսանքի լրիվ աշխատանքը՝ անկախ այն բանից, թե էլեկտրաէներգիան էներգիայի ինչ տեսակների է փոխակերպվել: Այսպես, էլեկտրաշարժիչի աշխատանքի ժամանակ էլեկտրաէներգիայի մի մասը փոխակերպվում է ջերմային էներգիայի (շարժիչը տաքանում է), իսկ մնացած մասը՝ մեխանիկական էներգիայի: (2.17) բանաձևը թույլ է տալիս հաշվել էլեկտրաշարժիչում հոսանքի լրիվ աշխատանքը, սակայն թույլ չի տալիս որոշել, թե դրա որ մասն է ծախսվել տաքացման վրա և որ մասը՝ մեխանիկական աշխատանք կատարելու վրա:

Եթե շղթայի տեղամասում մեխանիկական աշխատանք չի կատարվում, և հոսանքը, բացի ջերմային ազդեցությունից, չունի այլ ազդեցություններ, ապա, քանի էներգիայի պահպանման օրենքի, հոսանքի լրիվ աշխատանքը հավասար է տեղամասում անջատված Q ջերմաքանակին՝

$$Q = IU\Delta t\ : \tag{2.18}$$

Օգտվելով շղթայի տեղամասի համար Օհմի օրենքից՝ (2.18) բանաձևը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքերով՝

$$Q = \frac{U^2}{R}\Delta t\ , \tag{2.19}$$

$$\boxed{Q = I^2 R\Delta t}\ ; \tag{2.20}$$

(2.20) բանաձևն արտահայտում է Ջոուլ-Լենցի օրենքը, համաձայն որի ***հոսանքակիր հաղորդչում անջատված ջերմաքանակը հավասար է հոսանքի ուժի քառակուսու, հաղորդչի դիմադրության և հաղորդչով հոսանքն անցնելու ժամանակամիջոցի արտադրյալին:***

Ջոուլը և Լենցն այս օրենքն իրարից անկախ հայտնաբերել են փորձնական եղանակով: Մենք այն ստացանք էներգիայի պահպանման օրենքի վրա հիմնված դատողություններով:

Էլեկտրական շղթայում հոսանքի աշխատանք կատարելու արագությունը բնութագրող մեծությանն անվանում են ***հոսանքի հզորություն:*** Այն սովորաբար նշանակում

Դիտարկենք շղթայի որևէ տեղամաս (նկ.42): Դա կարող է լինել շիկացման լամպ, էլեկտրաշարժիչի փաթույթ, էլեկտրասալիկ կամ մեկ այլ սպառիչ: Դիցուք՝ տեղամասում լարումն Uէ, և սպառիչով անցնող հոսանքի ուժն Iէ: Եթե Δt ժամանակում տեղամասով անցնում է Δq լիցք, ապա կատարված աշխատանքը՝

$$A = \Delta q U: \qquad (2.16)$$

Հոսանքի ուժի (2.1) բանաձևից՝ $\Delta q = I\Delta t$, ուստի (2.16) արտահայտությունից կստանանք՝

$$\boxed{A = IU\Delta t}: \qquad (2.17)$$

Հաստատուն հոսանքի աշխատանքը շղթայի տեղամասում հավասար է հոսանքի ուժի, լարման և այն ժամանակամիջոցի արտադրյալին, որի ընթացքում կատարվել է այդ աշխատանքը:

Աշխատանքի (2.17) բանաձևը թույլ է տալիս հաշվել շղթայի տեղամասում հոսանքի լրիվ աշխատանքը՝ անկախ այն բանից, թե էլեկտրաէներգիան էներգիայի ինչ տեսակների է փոխակերպվել: Այսպես, էլեկտրաշարժիչի աշխատանքի ժամանակ էլեկտրաէներգիայի մի մասը փոխակերպվում է ջերմային էներգիայի (շարժիչը տաքանում է), իսկ մնացած մասը՝ մեխանիկական էներգիայի: (2.17) բանաձևը թույլ է տալիս հաշվել էլեկտրաշարժիչում հոսանքի լրիվ աշխատանքը, սակայն թույլ չի տալիս որոշել, թե դրա որ մասն է ծախսվել տաքացման վրա և որ մասը՝ մեխանիկական աշխատանք կատարելու վրա:

Եթե շղթայի տեղամասում մեխանիկական աշխատանք չի կատարվում, և հոսանքը, բացի ջերմային ազդեցությունից, չունի այլ ազդեցություններ, ապա, ըստ էներգիայի պահպանման օրենքի, հոսանքի լրիվ աշխատանքը հավասար է տեղամասում անջատված Q ջերմաքանակին՝

$$Q = IU\Delta t: \qquad (2.18)$$

Օգտվելով շղթայի տեղամասի համար Օհմի օրենքից՝ (2.18) բանաձևը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքերով՝

$$Q = \frac{U^2}{R}\Delta t, \qquad (2.19)$$

$$\boxed{Q = I^2 R\Delta t}: \qquad (2.20)$$

(2.20) բանաձևն արտահայտում է Ջոուլ-Լենցի օրենքը, համաձայն որի ***հոսանքակիր հաղորդչում անջատված ջերմաքանակը հավասար է հոսանքի ուժի քառակուսու, հաղորդչի դիմադրության և հաղորդչով հոսանքն անցնելու ժամանակամիջոցի արտադրյալին:***

Ջոուլը և Լենցն այս օրենքն իրարից անկախ հայտնաբերել են փորձնական եղանակով: Մենք այն ստացանք էներգիայի պահպանման օրենքի վրա հիմնված դատողություններով:

Էլեկտրական շղթայում հոսանքի աշխատանք կատարելու արագությունը բնութագրող մեծությունն անվանում են ***հոսանքի հզորություն:*** Այն սովորաբար նշանակում

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում հոսանքի աշխատանքը:
2. Ձևակերպեք Ջոուլ-Լենցի օրենքը:
3. Ա՞ր ձեծուբյունց են սեղմանում հոսանքի եզրաքերվուն:
4. Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում հոսանքի եզրաքերվուն:
5. Էլեկտրաշարժիչի ինչ արտադրանք է հոսանքը վառարանում: Ինչպիսին պետք է լինի [illegible] վրա: Ինչո՞ւ:
6. Ինչպե՞ս կփոխվի էլեկտրաշարժիչի հզորությունը, երբ նրան միացնում են ցանցին:
7. Ձուլակերտարա՞ր, քե՞ հոսանքազրկում գնում է միացնել նոսր հոսանքներ ոլորուն զի ջուրն ամբի չլցա հոսա:

§ 28. Էլեկտրաշարժ ուժ

Էրիկ միասին գնդեր միաբավրիկը ցոդուկով հավասար ատրոսֆոյն միջերով և հավասարապես միացնենք հոսք (նկ. 43): Գոյների էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ բացասական միաբավրիկ և գնդի հավելուրդային էլեկտրոններ հոսքը դեպքում հշարժվեն դեպի B գունդը և հշեզրային գրա գրական մասում: Արդյունքում գնդերի պոտենցիալները հեռանալուն, և հոսանքը կդադարի: Հոսանքի գոյության համար անհրաժեշտ է, որ հաղորդիչի ծայրերում էլեկտրական դաշտի ուժգնությունը չնվազի զրոյի: Այդ կարելի է անել, օրինակ, և գնդից էլեկտրոններ մեկ ուղղությամբ անընդհատ տեղափոխելով դեպի A գունդ (նկ. 44): Էլեկտրոնների

են P տառով: Եթե Δt ժամանակում հոսանքի աշխատանքը A է, ապա՝

$$P = \frac{A}{\Delta t} \quad (2.21)$$

Քանի որ հոսանքի աշխատանքն արտահայտվում է $A = IU\Delta t$ բանաձևով, ապա (2.21) բանաձևից կստանանք՝

$$P = IU \quad (2.22)$$

Հաստատուն հոսանքի հզորությունը շղթայի տվյալ տեղամասում հավասար է հոսանքի ուժի և լարման արտադրյալին:

Օգտվելով շղթայի տեղամասի համար Օհմի օրենքից՝ (2.22) բանաձևը կարելի է ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքերով՝

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad (2.23)$$

$$P = I^2R \quad (2.24)$$

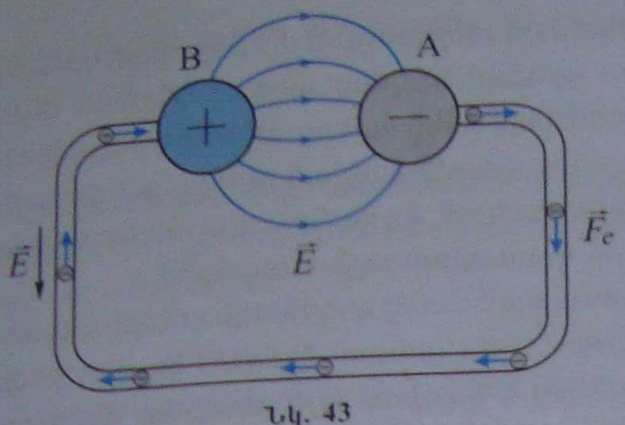
Ինչպես մեխանիկական հզորությունը, հոսանքի հզորությունը ևս արտահայտվում է *վատտով:* Հոսանքի հզորությունը չափում են հատուկ սարքով, որը կոչվում է *վատտմետր:*

Հարցեր և առաջադրանքներ

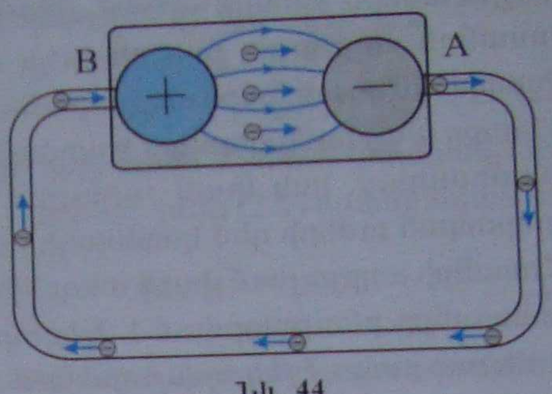
1. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում հոսանքի աշխատանքը:*
2. *Ձևակերպե՛ք Ջոուլ-Լենցի օրենքը:*
3. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում հոսանքի հզորություն:*
4. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում հոսանքի հզորությունը:*
5. *Էլեկտրասալիկն ունի պարույր և հոսանք մատուցող հաղորդալարեր: Դրանցից որի՞ դիմադրությունն է մեծ: Ինչո՞ւ:*
6. *Ինչպե՞ս կփոխվի էլեկտրասալիկի հզորությունը, եթե նրա պարույրը կարճացվի:*
7. *Ջուգահեռաբա՞ր, թե՞ հաջորդաբար պետք է միացնել երկու եռոցները, որպեսզի ջուրն ավելի շուտ եռա:*

§ 28. Էլեկտրաշարժ ուժ

Երկու մետաղե գնդեր լիցքավորենք մոդուլով հավասար տարաձև լիցքերով և հաղորդալարով միացնենք իրար (նկ.43): Գնդերի էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ բացասականացապես լիցքավորված A գնդի հավելուրդային էլեկտրոնները հաղորդալարով կշարժվեն դեպի B գունդը և կչեզոքացնեն նրա դրական լիցքը: Կարճ ժամանակում գնդերի պոտենցիալները կհավասարվեն, և հոսանքը կդադարի: Որպեսզի հաղորդալարում պահպանվի երկարատև հոսանք, անհրաժեշտ է միշտ համալրել գնդերի լիցքերը: Դա կարելի է անել, օրինակ, B գնդից էլեկտրոնները մեկ այլ ճանապարհով անընդհատ տեղափոխելով դեպի A գունդ (նկ.44): Էլեկտրոնների



Նկ. 43



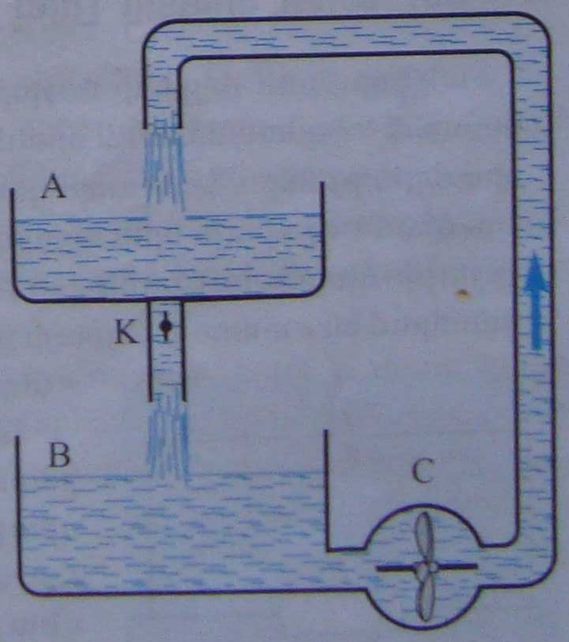
Նկ. 44

ման տեղափոխությունն ինքնակամ տեղի ունենալ չի կարող, քանի որ այդ տեղամասում էլեկտրական դաշտը խանգարում է նրանց շարժմանը: Անհրաժեշտ են ոչ էլեկտրական ուժեր, որոնք այդ մասնիկները կարող են տեղափոխել էլեկտրական ուժերին հակառակ ուղղությամբ: Այդ ուժերը չեն կարող լինել էլեկտրաստատիկ բնույթի: Իրոք, էլեկտրաստատիկ դաշտը պոտենցիալային է, ուստի լիցքը փակ շղթայով տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է զրոյի: Մինչդեռ էլեկտրական հոսանքի անցումն ուղեկցվում է էներգիայի անջատմամբ (հաղորդիչները տաքանում են):

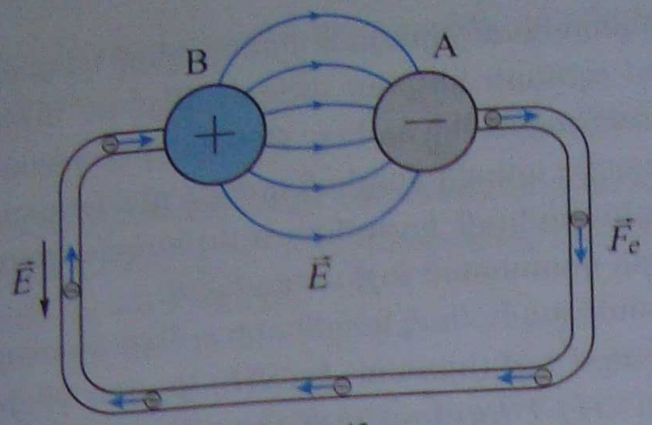
Լիցքավորված մասնիկներն ուղղորդված շարժման մեջ դնող, դրական և բացասական լիցքերն իրարից անջատող ոչ էլեկտրաստատիկ բնույթի ուժերը կոչվում են կողմնակի ուժեր:

Այն սարքը, որտեղ կողմնակի ուժերն առաջացնում են լիցքերի բաժանում, կոչվում է ***հոսանքի աղբյուր:*** Կողմնակի ուժերի ազդեցությամբ հոսանքի աղբյուրի ներսում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են կուլոնյան ուժերին հակառակ ուղղությամբ, որի արդյունքում աղբյուրի բևեռների միջև պահպանվում է պոտենցիալների տարբերություն: Շղթայի մնացած տեղամասերում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ: Կախված հոսանքի աղբյուրի տեսակից՝ կողմնակի ուժերը կարող են լինել տարբեր բնույթի: Օրինակ՝ էլեկտրական գեներատորում կողմնակի ուժը շարժվող հաղորդչում մագնիսական դաշտի կողմից էլեկտրոնների վրա ազդող ուժն է, հոսանքի քիմիական աղբյուրներում կողմնակի ուժերը քիմիական բնույթի են և այլն:

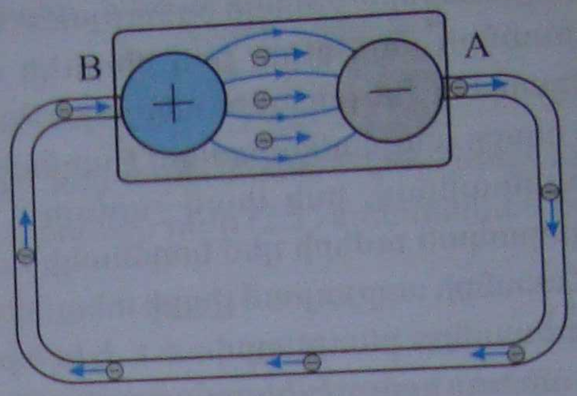
Փակ շղթայում անընդհատ հոսանք ստանալու գործում կողմնակի ուժերի դերն ավելի լավ պատկերացնելու համար դիմենք էլեկտրական հոսանքի և ջրի հոսքի հետևյալ համեմատությանը: Նկ.45-ում պատկերված A անոթը լցված է ջրով: Եթե բացենք K փականը, ապա գրավիտացիոն ուժի ազդեցությամբ ջուրը կսկսի հոսել դեպի B անոթ: Որոշ ժամանակ անց A անոթում ջուրը կվերջանա, և նրա հոսքը կդադարի: Չընդհատվող հոսք ստանալու համար անհրաժեշտ է ջուրը B անոթից անընդհատ մղել դեպի A անոթ: Դա



Նկ. 45



Նկ. 43



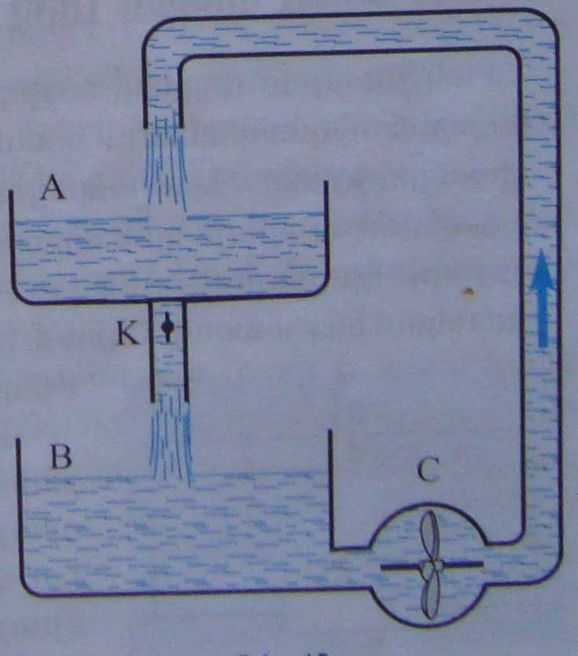
Նկ. 44

նման տեղափոխություններ իրենց տեղի ունենալ չի կարող, քանի որ այդ տեղամասում էլեկտրական դաշտը խանգարում է նրանց շարժմանը: Անհրաժեշտ են ոչ էլեկտրական ուժեր, որոնք այդ մասնիկները կարող են տեղափոխել էլեկտրական ուժերին հակառակ ուղղությամբ: Այդ ուժերը չեն կարող լինել էլեկտրաստատիկ բնույթի: Իրոք, էլեկտրաստատիկ դաշտը պոտենցիալային է, ուստի լիցքը փակ շղթայով տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է զրոյի: Մինչդեռ էլեկտրական հոսանքի անցումն ուղեկցվում է էներգիայի անջատմամբ (հաղորդիչները տաքանում են):

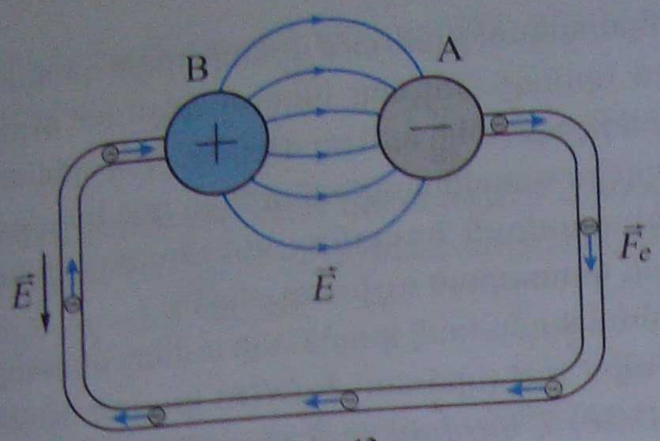
Լիցքավորված մասնիկներն ուղղորդված շարժման մեջ դնող, դրական և բացասական լիցքերն իրարից անջատող ոչ էլեկտրաստատիկ բնույթի ուժերը կոչվում են կողմնակի ուժեր:

Այն սարքը, որտեղ կողմնակի ուժերն առաջացնում են լիցքերի բաժանում, կոչվում է ***հոսանքի աղբյուր:*** Կողմնակի ուժերի ազդեցությամբ հոսանքի աղբյուրի ներսում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են կուլոնյան ուժերին հակառակ ուղղությամբ, որի արդյունքում աղբյուրի բևեռների միջև պահպանվում է պոտենցիալների տարբերություն: Շղթայի մնացած տեղամասերում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ: Կախված հոսանքի աղբյուրի տեսակից՝ կողմնակի ուժերը կարող են լինել տարբեր բնույթի: Օրինակ՝ էլեկտրական գեներատորում կողմնակի ուժը շարժվող հաղորդչում մագնիսական դաշտի կողմից էլեկտրոնների վրա ազդող ուժն է, հոսանքի քիմիական աղբյուրներում կողմնակի ուժերը քիմիական բնույթի են և այլն:

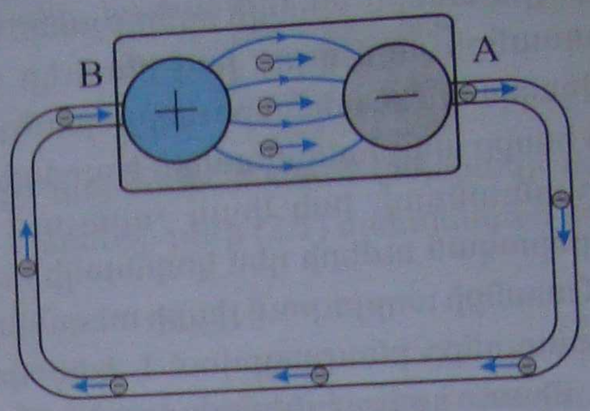
Փակ շղթայում անընդհատ հոսանք ստանալու գործում կողմնակի ուժերի դերն ավելի լավ պատկերացնելու համար դիմենք էլեկտրական հոսանքի և ջրի հոսքի հետևյալ համեմատությանը: Նկ.45-ում պատկերված A անոթը լցված է ջրով: Եթե բացենք K փականը, ապա գրավիտացիոն ուժի ազդեցությամբ ջուրը կսկսի հոսել դեպի B անոթ: Որոշ ժամանակ անց A անոթում ջուրը կվերջանա, և նրա հոսքը կդադարի: Չընդհատվող հոսք ստանալու համար անհրաժեշտ է ջուրը B անոթից անընդհատ մղել դեպի A անոթ: Դա



Նկ. 45



Նկ. 43



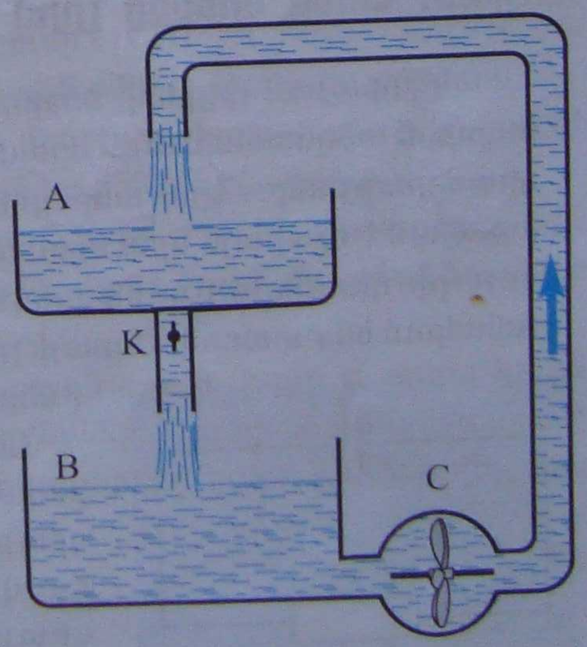
Նկ. 44

նման տեղափոխություններ ինքնակամ տեղի ունենալ չի կարող, քանի որ այդ տեղամասում էլեկտրական դաշտը խանգարում է նրանց շարժմանը: Անհրաժեշտ են ոչ էլեկտրական ուժեր, որոնք այդ մասնիկները կարող են տեղափոխել էլեկտրական ուժերին հակառակ ուղղությամբ: Այդ ուժերը չեն կարող լինել էլեկտրաստատիկ բնույթի: Իրոք, էլեկտրաստատիկ դաշտը պոտենցիալային է, ուստի լիցքը փակ շղթայով տեղափոխելիս դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է զրոյի: Մինչդեռ էլեկտրական հոսանքի անցումն ուղեկցվում է էներգիայի անջատմամբ (հաղորդիչները տաքանում են):

Լիցքավորված մասնիկներն ուղղորդված շարժման մեջ դնող, դրական և բացասական լիցքերն իրարից անջատող ոչ էլեկտրաստատիկ բնույթի ուժերը կոչվում են կողմնակի ուժեր:

Այն սարքը, որտեղ կողմնակի ուժերն առաջացնում են լիցքերի բաժանում, կոչվում է ***հոսանքի աղբյուր:*** Կողմնակի ուժերի ազդեցությամբ հոսանքի աղբյուրի ներսում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են կուլոնյան ուժերին հակառակ ուղղությամբ, որի արդյունքում աղբյուրի բևեռների միջև պահպանվում է պոտենցիալների տարբերություն: Շղթայի մնացած տեղամասերում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ: Կախված հոսանքի աղբյուրի տեսակից՝ կողմնակի ուժերը կարող են լինել տարբեր բնույթի: Օրինակ՝ էլեկտրական գեներատորում կողմնակի ուժը շարժվող հաղորդչում մագնիսական դաշտի կողմից էլեկտրոնների վրա ազդող ուժն է, հոսանքի քիմիական աղբյուրներում կողմնակի ուժերը քիմիական բնույթի են և այլն:

Փակ շղթայում անընդհատ հոսանք ստանալու գործում կողմնակի ուժերի դերն ավելի լավ պատկերացնելու համար դիմենք էլեկտրական հոսանքի և ջրի հոսքի հետևյալ համեմատությանը: Նկ.45-ում պատկերված A անոթը լցված է ջրով: Եթե բացենք K փականը, ապա գրավիտացիոն ուժի ազդեցությամբ ջուրը կսկսի հոսել դեպի B անոթ: Որոշ ժամանակ անց A անոթում ջուրը կվերջանա, և նրա հոսքը կդադարի: Չընդհատվող հոսք ստանալու համար անհրաժեշտ է ջուրը B անոթից անընդհատ մղել դեպի A անոթ: Դա



Նկ. 45

կարելի է անել C պոմպի օգնությամբ: Էլեկտրական շղթայում պոմպի դերը կատարում է հոսանքի աղբյուրը, իսկ հեղուկի վրա պոմպի կողմից ազդող ճնշման ուժերին փոխարինում են հոսանքի աղբյուրում գործող կողմնակի ուժերը: Քննարկվող օրինակում ջրի հոսքը պայմանավորված է պոմպի կողմից գրավիտացիոն ուժերի դեմ կատարած աշխատանքով, իսկ փակ շղթայում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված է էլեկտրական ուժերի դեմ կողմնակի ուժերի կատարած աշխատանքով:

Հոսանքի աղբյուրում լիցքի տեղափոխման ժամանակ կողմնակի ուժերի կատարած աշխատանքը բնութագրվում է *էլեկտրաշարժ ուժ* (կրճատ՝ *ԷՇՈՒ*) կոչվող ֆիզիկական մեծությամբ: ***Էլեկտրաշարժ ուժ (ԷՇՈՒ) է կոչվում այն սկալյար մեծությունը, որը հավասար է փակ շղթայով լիցքը տեղափոխելիս կողմնակի ուժերի կատարած աշխատանքի և այդ լիցքի մեծության հարաբերությանը՝***

$$\mathscr{E} = \frac{A_{\text{կողմ}}}{\Delta q}\,; \qquad (2.25)$$

Փաստորեն ԷՇՈՒ-ն թվապես հավասար է այն աշխատանքին, որ կատարում է հոսանքի աղբյուրը միավոր դրական լիցքը աղբյուրի բացասական բևեռից դրական բևեռ տեղափոխելիս:

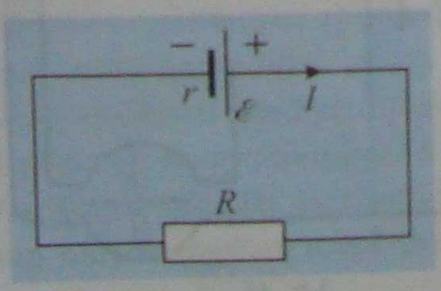
Էլեկտրաշարժ ուժն արտահայտվում է վոլտով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞ւ միայն էլեկտրաստատիկ դաշտն իզորու չէ շղթայում պահպանել հաստատուն էլեկտրական հոսանք:*
2. *Ո՞ր ուժերն են կոչվում կողմնակի ուժեր:*
3. *Բերե՛ք կողմնակի ուժերի օրինակներ:*
4. *Ի՞նչ դեր են խաղում կողմնակի ուժերը հոսանքի աղբյուրում:*
5. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում էլեկտրաշարժ ուժ:*
6. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում էլեկտրաշարժ ուժը:*

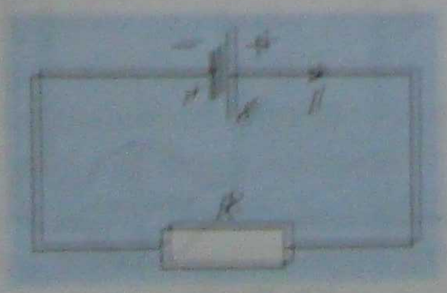
§ 29. Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար

Փակ շղթայում լիցքերի ուղղորդված շարժմանը խոչընդոտում է ոչ միայն շղթայի արտաքին տեղամասը, այլև հոսանքի աղբյուրը, այսինքն՝ վերջինս նույնպես օժտված է դիմադրությամբ: Դրա ապացույցն է այն փաստը, որ շղթայով հոսանք անցնելիս տաքանում է ոչ միայն նրա արտաքին տեղամասը, այլև հոսանքի աղբյուրը: Հոսանքի աղբյուրի դիմադրությունն անվանում են ***ներքին դիմադրություն*** և սովորաբար նշանակում են r տառով: Շղթայի լրիվ դիմադրությունը հավասար է նրա R արտաքին և r ներքին դիմադրությունների գումարին՝ $R + r$:



Նկ. 46

Դիտարկենք r ներքին դիմադրություն և $\mathscr{E}$ էլեկտրաշարժ ուժ ունեցող հոսանքի աղբյուրից և R դիմադրությամբ սպառիչից կազմված լրիվ շղթան (նկ. 46): Հաշվենք հոսանքի ուժը փակ շղթայում՝ օգտվելով էներգիայի պահպանման օրենքից: Շղթայով հոսանք անցնելիս նրա արտաքին և ներքին տեղամասերում Δt



Նկ. 46

ժամանակամիջոցում անջատված ջերմաքանակը, համաձայն Ջոուլ-Լենցի օրենքի, հավասար է՝

$$Q = I^2R\Delta t + I^2r\Delta t : \qquad (2.26)$$

Այդ ջերմաքանակն անջատվում է հոսանքի աղբյուրի ներսում կողմնակի ուժերի կատարած $A_{կողմ} = \mathcal{E}\Delta q$ աշխատանքի հաշվին: Հոսանքի ուժի (2.1) սահմանման համաձայն՝ $\Delta q = I\Delta t$, ուստի՝

$$A_{կողմ} = \mathcal{E} I\Delta t \ : \qquad (2.27)$$

Եթե շղթայում տեղի ունի միայն էլեկտրաէներգիայի փոխակերպում ներքին էներգիայի, ապա, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, կողմնակի ուժերի կատարած աշխատանքը պետք է հավասար լինի շղթայի արտաքին և ներքին տեղամասերում անջատված ջերմաքանակների գումարին՝ $A_{կողմ} = Q$: Հավասարեցնելով (2.26) և (2.27) արտահայտությունները և հավասարման երկու կողմերը բաժանելով $I\Delta t$-ի վրա՝ կստանանք՝

$$\mathcal{E} = IR + Ir \ , \qquad (2.28)$$

որտեղից՝

$$\boxed{I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}} \ : \qquad (2.29)$$

(2.29) բանաձևն արտահայտում է Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար:

Հոսանքի ուժը փակ շղթայում հավասար է հոսանքի աղբյուրի էլեկտրաշարժ ուժի և շղթայի լրիվ դիմադրության հարաբերությանը:

IR մեծությունն ընդունված է անվանել ***լարման անկում*** R դիմադրության վրա: (2.28) բանաձևից հետևում է, որ ԷլՇՈՒ-ն հավասար է փակ շղթայի արտաքին և ներքին տեղամասերում լարման անկումների գումարին:

Այժմ դիտարկենք երկու մասնավոր դեպք, երբ շղթայի արտաքին տեղամասի դիմադրությունը ներքին դիմադրության համեմատությամբ շատ մեծ կամ շատ փոքր է:

1. Եթե $R >> r$, ապա (2.28) բանաձևի աջ մասում Ir անդամն IR անդամի նկատմամբ կարելի է անտեսել: Այդ դեպքում կստանանք՝ $\mathcal{E} \approx IR = U$, այսինքն՝ լարումն աղբյուրի սեղմակներում հավասար է հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ին: Մասնավորապես, նման իրավիճակ է ստեղծվում այն դեպքում, երբ շղթան բաց է: Քանի որ այդ դեպքում աղբյուրի սեղմակներն իրարից բաժանված են օդի մեկուսիչ շերտով, ապա կարելի է համարել, որ շղթայի արտաքին տեղամասն ունի անվերջ մեծ դիմադրություն:

2. Եթե $R << r$, ապա (2.29) բանաձևից հետևում է, որ $\mathcal{E} \approx Ir$, և հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն՝ $I_{կմ} = \mathcal{E} / r$ արժեքը, որը կոչվում է ***կարճ միացման հոսանքի ուժ***:

Երբ աղբյուրի ներքին դիմադրությունը բավականաչափ փոքր է, ապա կարճ միացման հոսանքը կարող է ընդունել շատ մեծ արժեքներ: Այդ դեպքում անջատված մեծ ջերմաքանակի հետևանքով միացնող հաղորդալարերը կարող են հալվել, իսկ հոսանքի աղբյուրը կարող է շարքից դուրս գալ:

ժամանակամիջոցում անջատված ջերմաքանակը, համաձայն Ջոուլ-Լենցի օրենքի, հավասար է՝

$$Q = I^2R\Delta t + I^2r\Delta t : \qquad (2.26)$$

Այդ ջերմաքանակն անջատվում է հոսանքի աղբյուրի ներսում կողմնակի ուժերի կատարած $A_{կողմ} = \mathscr{E}\Delta q$ աշխատանքի հաշվին: Հոսանքի ուժի (2.1) սահմանման համաձայն՝ $\Delta q = I\Delta t$, ուստի՝

$$A_{կողմ} = \mathscr{E} I\Delta t \ : \qquad (2.27)$$

Եթե շղթայում տեղի ունի միայն էլեկտրաէներգիայի փոխակերպում ներքին էներգիայի, ապա, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, կողմնակի ուժերի կատարած աշխատանքը պետք է հավասար լինի շղթայի արտաքին և ներքին տեղամասերում անջատված ջերմաքանակների գումարին՝ $A_{կողմ} = Q$: Հավասարեցնելով (2.26) և (2.27) արտահայտությունները և հավասարման երկու կողմերը բաժանելով $I\Delta t$ -ի վրա՝ կստանանք՝

$$\mathscr{E} = IR + Ir \ , \qquad (2.28)$$

որտեղից՝

$$\boxed{I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}} : \qquad (2.29)$$

(2.29) բանաձևն արտահայտում է Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար:

Հոսանքի ուժը փակ շղթայում հավասար է հոսանքի աղբյուրի էլեկտրաշարժ ուժի և շղթայի լրիվ դիմադրության հարաբերությանը:

IR մեծությունն ընդունված է անվանել ***լարման անկում*** R դիմադրության վրա: (2.28) բանաձևից հետևում է, որ ԷլՇՈՒ-ն հավասար է փակ շղթայի արտաքին և ներքին տեղամասերում լարման անկումների գումարին:

Այժմ դիտարկենք երկու մասնավոր դեպք, երբ շղթայի արտաքին տեղամասի դիմադրությունը ներքին դիմադրության համեմատությամբ շատ մեծ կամ շատ փոքր է:

1. Եթե $R >> r$, ապա (2.28) բանաձևի աջ մասում Ir անդամն IR անդամի նկատմամբ կարելի է անտեսել: Այդ դեպքում կստանանք՝ $\mathscr{E} \approx IR = U$, այսինքն՝ լարումն աղբյուրի սեղմակներում հավասար է հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ին: Մասնավորապես, նման իրավիճակ է ստեղծվում այն դեպքում, երբ շղթան բաց է: Քանի որ այդ դեպքում աղբյուրի սեղմակներն իրարից բաժանված են օդի մեկուսիչ շերտով, ապա կարելի է համարել, որ շղթայի արտաքին տեղամասն ունի անվերջ մեծ դիմադրություն:

2. Եթե $R << r$, ապա (2.29) բանաձևից հետևում է, որ $\mathscr{E} \approx Ir$, և հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն՝ $I_{կա} = \mathscr{E}/r$ արժեքը, որը կոչվում է ***կարճ միացման հոսանքի ուժ***:

Եթե աղբյուրի ներքին դիմադրությունը բավականաչափ փոքր է, ապա կարճ միացման հոսանքը կարող է ընդունել շատ մեծ արժեքներ: Այդ դեպքում անջատված մեծ ջերմաքանակի հետևանքով միացնող հաղորդալարերը կարող են հալվել, իսկ հոսանքի աղբյուրը կարող է շարքից դուրս գալ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպե՞ս կարելի է համոզվել, որ հոսանքի աղբյուրն օժտված է դիմադրությամբ:*
2. *Ձևակերպե՛ք Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար:*
3. *Ինչո՞ւ հոսանքի աղբյուրի սեղմակները չի կարելի միացնել իրար փոքր դիմադրությամբ հաղորդալարով:*
4. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում հոսանքի ուժը կարճ միացման դեպքում:*
5. *Ինչպե՞ս կարելի է որոշել հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ն:*

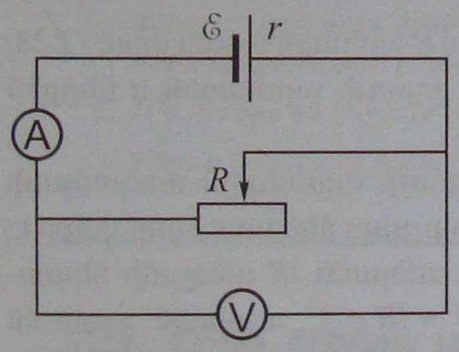
§ 30. Լաբորատոր աշխատանք N3. Հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ի և ներքին դիմադրության որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Փորձով որոշել հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ն և ներքին դիմադրությունը:

Չափամիջոցներ. 1. ամպերմետր (0÷2 Ա սանդղակով և 0,1 Ա բաժանման արժեքով), 2. վոլտմետր (0÷6 Վ սանդղակով, 0,2 Վ բաժանման արժեքով և R = 900 Օմ ներքին դիմադրությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. հաստատուն հոսանքի աղբյուր (ակումուլյատոր կամ գրպանի լապտերի մարտկոց), 2. ռեոստատ, 3. անջատիչ, 4. միացնող հաղորդալարեր:

Փորձի կատարման ընթացքը.



1. Հավաքել էլեկտրական շղթա ըստ սխեմայի:

2. Ռեոստատի սողնակի որոշակի դիրքում գրանցել վոլտմետրի U_1 և ամպերմետրի I_1 ցուցմունքները:

3. Տեղաշարժել ռեոստատի սողնակը և նորից չափել լարման և հոսանքի ուժի արժեքները՝ U_2 և I_2:

4. Երկու անգամ օգտագործելով Օհմի օրենքը փակ շղթայի համար՝

$$\mathscr{E} = U_1 + I_1 r\,, \quad \mathscr{E} = U_2 + I_2 r,$$

հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ի և ներքին դիմադրության համար կստանանք հետևյալ արտահայտությունները՝

$$\mathscr{E} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1}, \qquad r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}:$$

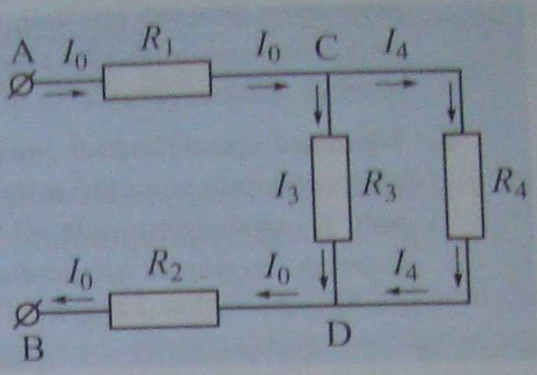
Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Հաղորդչի լայնական հատույթով յուրաքանչյուր $\Delta t = 10$ վ-ի ընթացքում անցնում է $N = 2 \cdot 10^{20}$ էլեկտրոն: Ինչի՞ է հավասար հոսանքի ուժը հաղորդչում:*

Լուծում: Հաղորդչի լայնական հատույթով Δt ժամանակամիջոցում անցած լիցքը՝ $\Delta q = eN$, որտեղ $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Կլ էլեկտրոնի լիցքի մոդուլն է: Հոսանքի ուժը՝

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{eN}{\Delta t} = 3{,}2\ \text{Ա}:$$

2. ***Նկարում պատկերված շղթայում*** $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ ***Օմ,*** $R_4 = 40$ ***Օմ: Լարումը շղթայի*** ***AB*** ***ծայրերին*** $U_0 = 140$ ***Վ է: Գտնել հոսանքի ուժի և լարման արժեքները շղթայի բոլոր տեղամասերում:***



Լուծում: Քանի որ շղթայի CD տեղամասը բաղկացած է զուգահեռաբար միացված R_3 ու R_4 դիմադրություններից, և այդ տեղամասը հաջորդաբար միացված է R_1 ու R_2 դիմադրություններին, ապա շղթայի բնդհանուր դիմադրությունը՝

$$R_0 = R_1 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + R_2 = 28\ \text{Օմ}:$$

Հոսանքի ուժը շղթայի չճյուղավորված տեղամասերում (R_1 և R_2 դիմադրություններում)՝ $I_1 = I_2 = I_0 = U_0 / R_0 = 5$ Ա: Լարումներն այդ դիմադրությունների վրա՝ $U_1 = I_1 R_1 = 50$ Վ, $U_2 = I_2 R_2 = 50$ Վ:

Լարումն R_3 և R_4 դիմադրությունների վրա հավասար է CD տեղամասի լարմանը՝

$$U_3 = U_4 = U_{CD} = U_0 - U_1 - U_2 = 40\ \text{Վ}:$$

Հոսանքի ուժի արժեքներն այդ դիմադրություններում կլինեն՝

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 4\ \text{Ա}, \quad I_4 = \frac{U_4}{R_4} = 1\ \text{Ա}:$$

3. ***Հոսանքի աղբյուրին մի դեպքում միացնում են*** $R_1 = 4$ ***Օմ, մյուս դեպքում՝*** $R_2 = 9$ ***Օմ դիմադրություն: Երկու դեպքում էլ շղթայի արտաքին տեղամասում անջատվում է նույն հզորությունը: Որքա՞ն է աղբյուրի ներքին դիմադրությունը:***

Լուծում: Հոսանքի աղբյուրին R_1 դիմադրություն միացնելիս հոսանքի ուժը՝ $I_1 = \mathscr{E} / (R_1 + r)$, որտեղ r-ն աղբյուրի ներքին դիմադրությունն է: Արտաքին տեղամասում անջատված հզորությունը՝ $P_1 = I_1^2 R_1 = \mathscr{E}^2 R_1 / (R_1 + r)^2$: Աղբյուրին R_2 դիմադրություն միացնելիս $P_2 = \mathscr{E}^2 R_2 / (R_2 + r)^2$: Հավասարեցնելով հզորության արժեքները՝

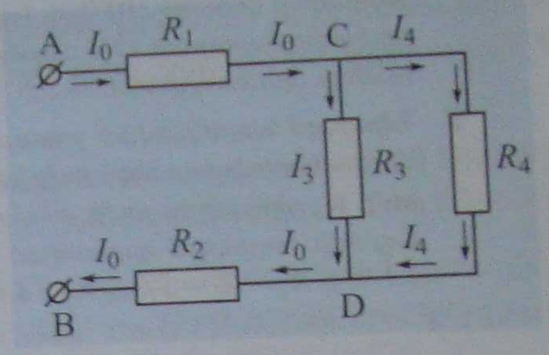
$$\frac{\mathscr{E}^2 R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{\mathscr{E}^2 R_2}{(R_2 + r)^2},$$

կստանանք՝ $r = \sqrt{R_1 R_2} = 6$ Օմ:

Խնդիրներ

1. *Գտնել 10 Օմ դիմադրությամբ հաղորդչի ծայրերին կիրառված լարումը, եթե 5 րոպեում նրա լայնական հատույթով անցնում է 120 Կլ լիցք:*
2. *Գտնել լամպի վոլֆրամե թելիկի t_2 ջերմաստիճանը, եթե 220 Վ լարման դեպքում նրանով անցնող հոսանքի ուժը 0,68 Ա է, իսկ $t_1 = 20^\circ$C ջերմաստիճանում նրա դիմադրությունը 36 Օմ է: Վոլֆրամի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը $4{,}6 \cdot 10^{-3}$ Կ$^{-1}$ է:*
3. *Որոշել մեկ րոպեում 10 Օմ դիմադրությամբ հաղորդչում անջատված ջերմաքանակը, եթե յուրաքանչյուր վայրկյանում նրանով անցնում է 10 Կլ լիցք:*

2. *Նկարում պատկերված շղթայում* $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ *Օմ,* $R_4 = 40$ *Օմ: Լարումը շղթայի* AB *ծայրերին* $U_0 = 140$ *Վ է: Գտնել հոսանքի ուժի և լարման արժեքները շղթայի բոլոր տեղամասերում:*



Լուծում: Քանի որ շղթայի CD տեղամասը բաղկացած է զուգահեռաբար միացված R_3 ու R_4 դիմադրություններից, և այդ տեղամասը հաջորդաբար միացված է R_1 ու R_2 դիմադրություններին, ապա շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը՝

$$R_0 = R_1 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} + R_2 = 28\ \text{Օմ}:$$

Հոսանքի ուժը շղթայի չճյուղավորված տեղամասերում (R_1 և R_2 դիմադրություններում)՝ $I_1 = I_2 = I_0 = U_0 / R_0 = 5$ Ա: Լարումներն այդ դիմադրությունների վրա՝ $U_1 = I_1 R_1 = 50$ Վ, $U_2 = I_2 R_2 = 50$ Վ:

Լարումն R_3 և R_4 դիմադրությունների վրա հավասար է CD տեղամասի լարմանը՝

$$U_3 = U_4 = U_{CD} = U_0 - U_1 - U_2 = 40\ \text{Վ}:$$

Հոսանքի ուժի արժեքներն այդ դիմադրություններում կլինեն՝

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 4\ \text{Ա}, \quad I_4 = \frac{U_4}{R_4} = 1\ \text{Ա}:$$

3. *Հոսանքի աղբյուրին մի դեպքում միացնում են* $R_1 = 4$ *Օմ, մյուս դեպքում՝* $R_2 = 9$ *Օմ դիմադրություն: Երկու դեպքում էլ շղթայի արտաքին տեղամասում անջատվում է նույն հզորությունը: Որքա՞ն է աղբյուրի ներքին դիմադրությունը:*

Լուծում: Հոսանքի աղբյուրին R_1 դիմադրություն միացնելիս հոսանքի ուժը՝ $I_1 = \mathscr{E} / (R_1 + r)$, որտեղ r-ն աղբյուրի ներքին դիմադրությունն է: Արտաքին տեղամասում անջատված հզորությունը՝ $P_1 = I_1^2 R_1 = \mathscr{E}^2 R_1 / (R_1 + r)^2$: Աղբյուրին R_2 դիմադրություն միացնելիս $P_2 = \mathscr{E}^2 R_2 / (R_2 + r)^2$: Հավասարեցնելով հզորության արժեքները՝

$$\frac{\mathscr{E}^2 R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{\mathscr{E}^2 R_2}{(R_2 + r)^2},$$

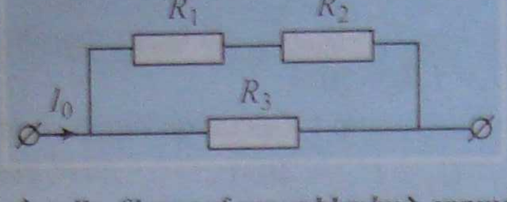
կստանանք՝ $r = \sqrt{R_1 R_2} = 6$ Օմ:

Խնդիրներ

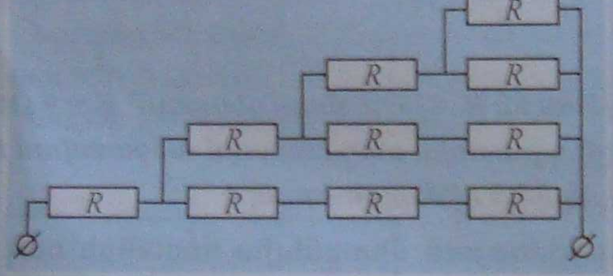
1. *Գտնել 10 Օմ դիմադրությամբ հաղորդչի ծայրերին կիրառված լարումը, եթե 5 րոպեում նրա լայնական հատույթով անցնում է 120 Կլ լիցք:*
2. *Գտնել լամպի վոլֆրամե թելիկի t_2 ջերմաստիճանը, եթե 220Վ լարման դեպքում նրանով անցնող հոսանքի ուժը 0,68 Ա է, իսկ $t_1 = 20^\circ C$ ջերմաստիճանում նրա դիմադրությունը 36 Օմ է: Վոլֆրամի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը $4{,}6 \cdot 10^{-3}$ Կ^{-1} է:*
3. *Որոշել մեկ րոպեում 10 Օմ դիմադրությամբ հաղորդչում անջատված ջերմաքանակը, եթե յուրաքանչյուր վայրկյանում նրանով անցնում է 10 Կլ լիցք:*

4. Վերամբարձ կռունկի էլեկտրաշարժիչն աշխատում է 280 Վ լարման տակ: Հոսանքի ուժը նրանում 20 Ա է: Ինչի՞ է հավասար կռունկի ՕԳԳ-ն, եթե 1 տ բեռը հավասարաչափ 19 մ բարձրացնելու համար պահանջվում է 50 վ:

5. Նկարում պատկերված շղթայում հաշվել ընդհանուր հոսանքի ուժը և հոսանքի ուժը R_3 դիմադրությամբ տեղամասում: Շղթայի ծայրերին կիրառված լարումը 4,2 Վ է, $R_1 = R_3 = 2$ Օմ, $R_2 = 6$ Օմ:



6. Հաշվել նկարում պատկերված շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը:



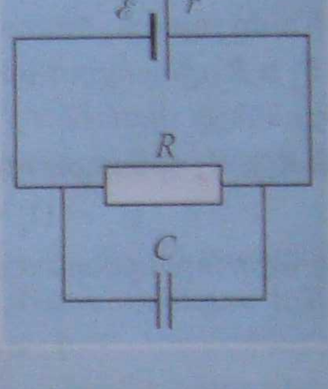
7. Հոսանքի ուժը շղթայում 2Ա է: Որոշել հոսանքի աղբյուրի ԷՇՈՒ-ն, եթե նրա ներքին դիմադրությունը 2 Օմ է, իսկ շղթայի արտաքին դիմադրությունը՝ 13 Օմ:

8. Ինչի՞ են հավասար հոսանքի աղբյուրի ԷՇՈՒ-ն և ներքին դիմադրությունը, եթե 14 Օմ արտաքին դիմադրությամբ այն փակելիս լարումն աղբյուրի սեղմակներին 28 Վ է, իսկ 29 Օմ դիմադրությամբ փակելիս՝ 29 Վ:

9. Հոսանքի աղբյուրի ներքին դիմադրությունն n անգամ փոքր է շղթայի արտաքին դիմադրությունից: Քանի՞ անգամ է լարումն աղբյուրի սեղմակներին փոքր աղբյուրի ԷՇՈՒ-ից:

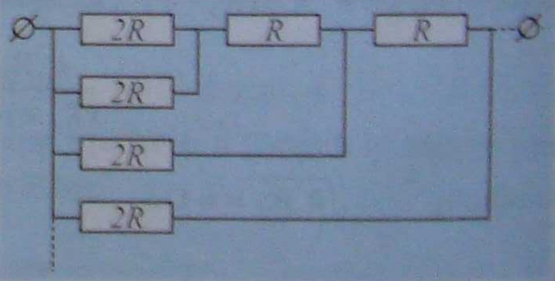
10. 12,4 Օմ դիմադրությամբ հաղորդիչը միացված է 0,1 Օմ ներքին դիմադրություն և 6 Վ ԷՇՈՒ ունեցող հոսանքի աղբյուրին: Ի՞նչ ջերմաքանակ կանջատվի շղթայի արտաքին տեղամասում և ամբողջ շղթայում 10 ր-ում:

11. Նկարում պատկերված շղթայում 20 Օմ դիմադրությամբ հաղորդչին զուգահեռաբար միացված է $5 \cdot 10^{-6}$ Ֆ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատոր: Գտնել աղբյուրի ԷՇՈՒ-ն, եթե նրա ներքին դիմադրությունը 2 Օմ է, իսկ կոնդենսատորի լիցքը՝ 10^{-5} Կլ:



12. Որոշել ջրածնի ատոմում միջուկի շուրջը պտտվող էլեկտրոնի ստեղծած հոսանքի ուժը, եթե էլեկտրոնի ուղեծրի շառավիղը $5{,}3 \cdot 10^{-11}$ մ է:

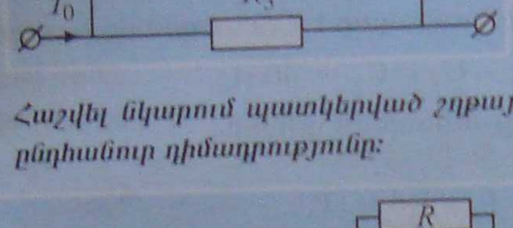
13. Նկարում պատկերված շղթան կազմված է անվերջ թվով դիմադրություններից: Գտնել շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը:



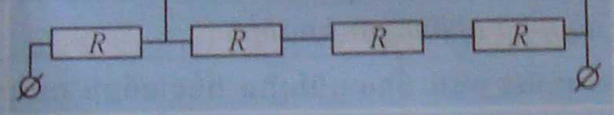
14. Երեք մետաղե օղակներ միացված են իրար նկարում պատկերված տեսքով: Ինչի՞ է հավասար շղթայի դիմադրությունը՝ R_{ab}-ն, եթե մեկ օղակի դիմադրությունը r է:

4. Վերամբարձ կռունկի էլեկտրաշարժիչն աշխատում է 280 Վ լարման տակ: Հոսանքի ուժը նրանում 20 Ա է: Քանի՞ է հավասար կռունկի ՕԳԳ-ն, եթե 1 տ բեռը հավասարաչափ 19 մ բարձրացնելու համար պահանջվում է 50 վ:

5. Նկարում պատկերված շղթայում հաշվել ընդհանուր հոսանքի ուժը և հոսանքի ուժը R_3 դիմադրությամբ տեղամասում: Շղթայի ծայրերին կիրառված լարումը 4,2 Վ է, $R_1 = R_3 = 2$ Օմ, $R_2 = 6$ Օմ:



6. Հաշվել նկարում պատկերված շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը:



7. Հոսանքի ուժը շղթայում 2Ա է: Որոշել հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ն, եթե նրա ներքին դիմադրությունը 2 Օմ է, իսկ շղթայի արտաքին դիմադրությունը՝ 13 Օմ:

8. Քանի՞ նման հոսանքի աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ն և ներքին դիմադրությունը, եթե 14 Օմ արտաքին դիմադրությամբ այն փակելիս լարումն աղբյուրի սեղմակներին 28 Վ է, իսկ 29 Օմ դիմադրությամբ փակելիս՝ 29 Վ:

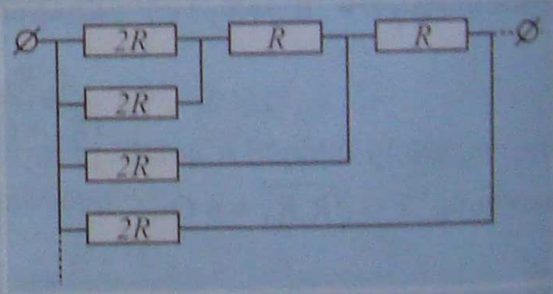
9. Հոսանքի աղբյուրի ներքին դիմադրությունն n անգամ փոքր է շղթայի արտաքին դիմադրությունից: Քանի՞ անգամ է լարումն աղբյուրի սեղմակներին փոքր աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ից:

10. 12,4 Օմ դիմադրությամբ հաղորդիչը միացված է 0,1 Օմ ներքին դիմադրություն և 6 Վ ԷլՇՈՒ ունեցող հոսանքի աղբյուրին: Ի՞նչ ջերմաքանակ կանջատվի շղթայի արտաքին տեղամասում և ամբողջ շղթայում 10 ր-ում:

11. Նկարում պատկերված շղթայում 20 Օմ դիմադրությամբ հաղորդիչին զուգահեռաբար միացված է $5 \cdot 10^{-6}$ Ֆ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատոր: Գտնել աղբյուրի ԷլՇՈՒ-ն, եթե նրա ներքին դիմադրությունը 2 Օմ է, իսկ կոնդենսատորի լիցքը՝ 10^{-5} Կլ:

12. Որոշել ջրածնի ատոմում միջուկի շուրջը պտտվող էլեկտրոնի ստեղծած հոսանքի ուժը, եթե էլեկտրոնի ուղեծրի շառավիղը $5,3 \cdot 10^{-11}$ մ է:

13. Նկարում պատկերված շղթան կազմված է անվերջ թվով դիմադրություններից: Գտնել շղթայի ընդհանուր դիմադրությունը:



14. Երեք մետաղե օղակներ միացված են իրար նկարում պատկերված տեսքով: Ի՞նչ է հավասար շղթայի դիմադրությունը՝ R_{ab}-ն, եթե մեկ օղակի դիմադրությունը r է:

ԳԼՈՒԽ 2-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժումը կոչվում է էլեկտրական հոսանք: Նյութում էլեկտրական հոսանքի գոյության համար անհրաժեշտ է ազատ լիցքավորված մասնիկների առկայություն և նրանց ուղղորդված շարժում հաղորդող էլեկտրական դաշտ: Էլեկտրական հոսանքն ունի ջերմային, քիմիական և մագնիսական ազդեցություններ:

2. Հոսանքի ուժը հավասար է Δt ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցած Δq լիցքի հարաբերությանն այդ ժամանակամիջոցին՝ $I = \Delta q / \Delta t$:

3. Հոսանքի ուժը շղթայի տեղամասում հավասար է տեղամասի ծայրերին կիրառված U լարման և R դիմադրության հարաբերությանը՝ $I = U / R$ (Օհմի օրենք շղթայի տեղամասի համար):

4. Համասեռ հաղորդչի դիմադրությունը որոշվում է $R = \rho l/S$ բանաձևով, որտեղ l-ը հաղորդչի երկարությունն է, S-ը՝ լայնական հատույթի մակերեսը, ρ-ն՝ նյութի տեսակարար դիմադրությունը: Սենյակային մոտ և ավելի բարձր ջերմաստիճաններում մետաղական հաղորդչի դիմադրությունը փոխվում է գծային օրենքով՝ $R = R_0(1+\alpha t)$:

5. Շղթայի տեղամասում Δt ժամանակամիջոցում հոսանքի աշխատանքը՝ $A = IU\Delta t$, իսկ հզորությունը՝ $P = IU$: Համաձայն Ջոուլ-Լենցի օրենքի՝ շղթայի տեղամասում անջատված ջերմաքանակը՝ $Q=I^2R\Delta t$:

6. Հոսանքի աղբյուրում գործում են ոչ պոտենցիալային բնույթի կողմնակի ուժեր, որոնց աշխատանքի շնորհիվ փակ շղթայում պահպանվում է էլեկտրական հոսանք: Էլեկտրաշարժ ուժ կոչվում է այն սկալյար մեծությունը, որը հավասար է հոսանքի աղբյուրով Δq լիցքը տեղափոխելիս կողմնակի ուժերի $A_{կողմ}$ աշխատանքի և այդ լիցքի հարաբերությանը՝ $\mathcal{E} = A_{կողմ} / \Delta q$:

7. Հոսանքի ուժը փակ շղթայում հավասար է աղբյուրի էլեկտրաշարժ ուժի հարաբերությանը շղթայի արտաքին և ներքին դիմադրությունների գումարին՝ $I = \mathcal{E}/(R + r)$ (Օհմի օրենք լրիվ շղթայի համար):

3 ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԸ ՏԱՐԲԵՐ ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ

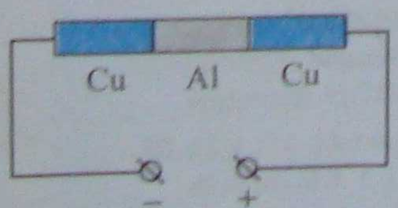
§ 31. Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում

Մետաղների կառուցվածքը: Մետաղները մեծ էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված նյութեր են: Մետաղները հալվում են համեմատաբար բարձր ջերմաստիճաններում, ուստի սենյակային ջերմաստիճաններում դրանք գտնվում են պինդ վիճակում (բացառություն է կազմում միայն սնդիկը, որի հալման ջերմաստիճանը $-38{,}9^{\circ}C$ է):

Մետաղների ատոմներն ունեն միջուկների հետ համեմատաբար թույլ կապված արժեքական էլեկտրոններ: Բյուրեղային ցանցի առաջացման պրոցեսում, երբ միջատոմային հեռավորությունները դառնում են ատոմների չափերի կարգի, յուրաքանչյուր արժեքական էլեկտրոն իր և հարևան ատոմների միջուկների կողմից ենթարկվում է գրեթե նույն ազդեցությանը: Ուստի արժեքական էլեկտրոններն այլևս չեն պատկանում որևէ կոնկրետ ատոմի, այլ ընդունակ են դառնում տեղափոխվելու մետաղի ամբողջ ծավալով: Այդպիսի էլեկտրոնները կոչվում են ***հաղորդականության էլեկտրոններ***:

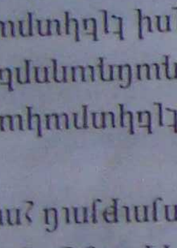
Իրենց արժեքական էլեկտրոնները կորցրած ատոմները վերածվում են դրականապես լիցքավորված իոնների, որոնք, տարածության մեջ դասավորվելով որոշակի կարգով, կազմում են մետաղի բյուրեղային ցանցը:

Էլեկտրահաղորդականության բնույթը մետաղներում: Ի տարբերություն հաղորդականության էլեկտրոնների՝ իոններն ազատ չեն: Նրանք չեն կարող տեղափոխվել մետաղի ամբողջ ծավալով և, հետևաբար, մասնակցել էլեկտրական հոսանքի ստեղծմանը: Եթե մետաղներում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված լիներ իոնների շարժմամբ, ապա այն անպայման կուղեկցվեր նաև նյութի տեղափոխությամբ: Ստուգելու համար՝ տեղի ունի՞ արդյոք այս երևույթը, թե՞ ոչ, 1901թ. գերմանացի ֆիզիկոս Կ.Ռիկեն մեկ տարի շարունակ էլեկտրական հոսանք անցկացրեց իրար ամուր հպված երեք գլանների միջով, որոնցից ծայրերինները պղնձից էին, իսկ մեջտեղինը՝ ալյումինից (նկ. 47): Չնայած այն բանին, որ մեկ տարվա ընթացքում գլաններով անցել էր ահռելի քանակությամբ լիցք, այնուամենայնիվ նյութի տեղափոխություն չնկատվեց: Կշռելով գլանները և մանրամասնորեն ուսումնասիրելով դրանց հպման մակերևույթները՝ Ռիկեն չհայտնաբերեց մի մետաղի ներթափանցում մյուսի մեջ: Դրանով ապացույցվեց, որ մետաղներում իոնները չեն կարող լինել հոսանք առաջացնող մասնիկներ:



Նկ. 47

Մետաղներում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված է հաղորդականության էլեկտրոններով: Այս փաստն առաջին անգամ 1913թ. ապացույցվեց Լ.Մանդելշտամի և Ն.Պապալեկսիի, իսկ փորձնական ավելի ուշ՝ 1916թ., Ռ.Տոլմենի և Տ.Ստյուարտի փորձերով: Այդ փորձերի հիմքում



Նկ. 48

Ընթերցողին հետևյալ պարզ խնդիրը: Երբ արագ շարժվող հաստատուն հոսանքի մագնիսական դաշտում տեղադրենք հաղորդալարի շրջանակ, որի հարթությունը զուգահեռ է մագնիսական ինդուկցիայի գծերին, ապա հաղորդալարում հոսանք չի առաջանա: Ինչ կլինի, եթե շրջանակը պտտենք մագնիսական դաշտում նրա հարթությանը ուղղահայաց առանցքի շուրջ: Պատասխանը հետևյալն է. շրջանակում հոսանք կառաջանա, որի ուղղությունը կարելի է որոշել Լենցի կանոնով: Ինչպե՞ս է առաջանում հոսանքը: Ինչպե՞ս է հոսանքի ուղղությունը կապված շրջանակի պտտման ուղղության հետ: Այս հարցերին պատասխանելու համար դիտարկենք հետևյալ փորձը:

Ուղղանկյուն շրջանակը հոսանքի աղբյուրին միացնելու համար նրա գագաթներին զոդում ենք մետաղալարեր (նկ. 48): Ընթերցողին հայտնի է, որ հաղորդալարի ցանկացած հատվածում առաջանում է հոսանքի աղբյուրի ներքին դիմադրությունից կախված էլեկտրական լարում: Հոսանքի ուղղությունը համընկնում է էլեկտրական լարման ուղղության հետ: ***Հոսանքի աղբյուրի ներքին դիմադրությունը զրո է համարվում:*** Ընթերկայնենք, որ շրջանակի հարթությունը ուղղահայաց է մագնիսական ինդուկցիայի գծերին, ինչպես նկարում: Ենթադրենք, որ շրջանակը պտտվում է ժամսլաքի ուղղությամբ ω անկյունային արագությամբ: Ինչպե՞ս կփոխվի շրջանակում հոսանքի ուղղությունը պտտման ընթացքում: Ինչպե՞ս կփոխվի հոսանքի ուղղությունը շրջանակի նկատմամբ: Ինչպե՞ս կփոխվի հոսանքի ուղղությունը արտաքին միացման նկատմամբ:

Նախ նկատենք, որ շրջանակի հարթությունը ուղղահայաց է մագնիսական ինդուկցիայի գծերին, ուստի շրջանակի միջով անցնող մագնիսական հոսքը հավասար է $\Phi = BS$, որտեղ B-ն մագնիսական ինդուկցիայի մոդուլն է, իսկ S-ը՝ շրջանակի մակերեսը: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակի միջով անցնող մագնիսական հոսքը: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը արտաքին միացման նկատմամբ: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը մագնիսական ինդուկցիայի գծերի նկատմամբ: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը շրջանակի նկատմամբ: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը մագնիսական ինդուկցիայի գծերի նկատմամբ: Ինչպե՞ս է փոխվում շրջանակում հոսանքի ուղղությունը արտաքին միացման

Այս տեսությամբ բացատրվում է նաև Ջոուլ-Լենցի օրենքը: Երկու հաջորդական բախումների միջև էլեկտրոններն արտաքին էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ շարժվում են արագացմամբ և ձեռք են բերում որոշակի կինետիկ էներգիա: Բախման ժամանակ այս էներգիան տրվում է իոններին, մեծացնելով նրանց տատանումների միջին էներգիան, հետևաբար՝ նաև մետաղի ներքին էներգիան, այսինքն՝ հաղորդիչը տաքանում է:

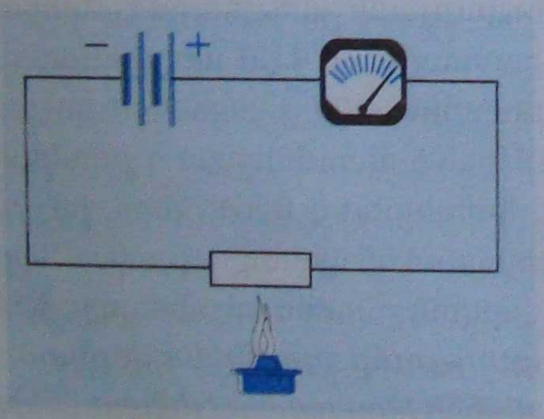
Սակայն դասական մեխանիկայի օրենքների վրա հիմնված դասական էլեկտրոնային տեսությունը սկզբունքորեն չի կարող քանակապես, իսկ հաճախ՝ նաև որակապես նկարագրել մետաղների հատկությունները, քանի որ էլեկտրոնները ենթարկվում են ոչ թե դասական, այլ քվանտային մեխանիկայի օրենքներին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

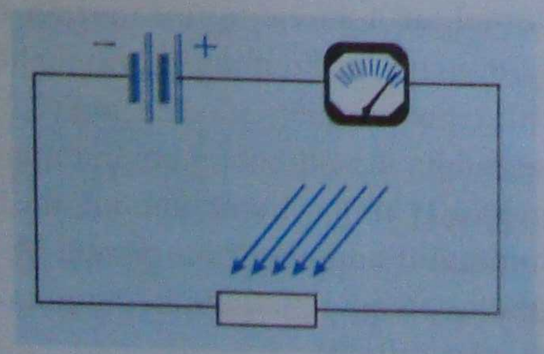
1. *Ի՞նչ կառուցվածք ունեն մետաղները:*
2. *Ո՞ր մասնիկների շարժմամբ է պայմանավորված էլեկտրական հոսանքը մետաղներում:*
3. *Ի՞նչ եզրակացության հանգեցրին Մանդելշտամի և Պապալեկսիի, Տոլմենի և Ստյուարտի փորձերը:*
4. *Նկարագրե՛ք Ռիկեի փորձը:*
5. *Ինչպե՞ս է կախված մետաղում էլեկտրոնների կարգավորված շարժման միջին արագությունը կիրառված լարումից:*
6. *Ինչո՞վ է պայմանավորված մետաղի էլեկտրական դիմադրությունը:*

§ 32. Էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում

Կիսահաղորդիչներ: Կիսահաղորդիչներ են կոչվում այն նյութերը, որոնք իրենց տեսակարար դիմադրությամբ միջանկյալ դիրք են գրավում մեկուսիչների և հաղորդիչների միջև: Տիպիկ կիսահաղորդիչներ են Մենդելեևի պարբերական աղյուսակի 4-րդ խմբի մի շարք տարրեր (սիլիցիում, գերմանիում և այլն), ինչպես նաև՝ մի շարք այլ պարզ նյութեր և միացություններ:



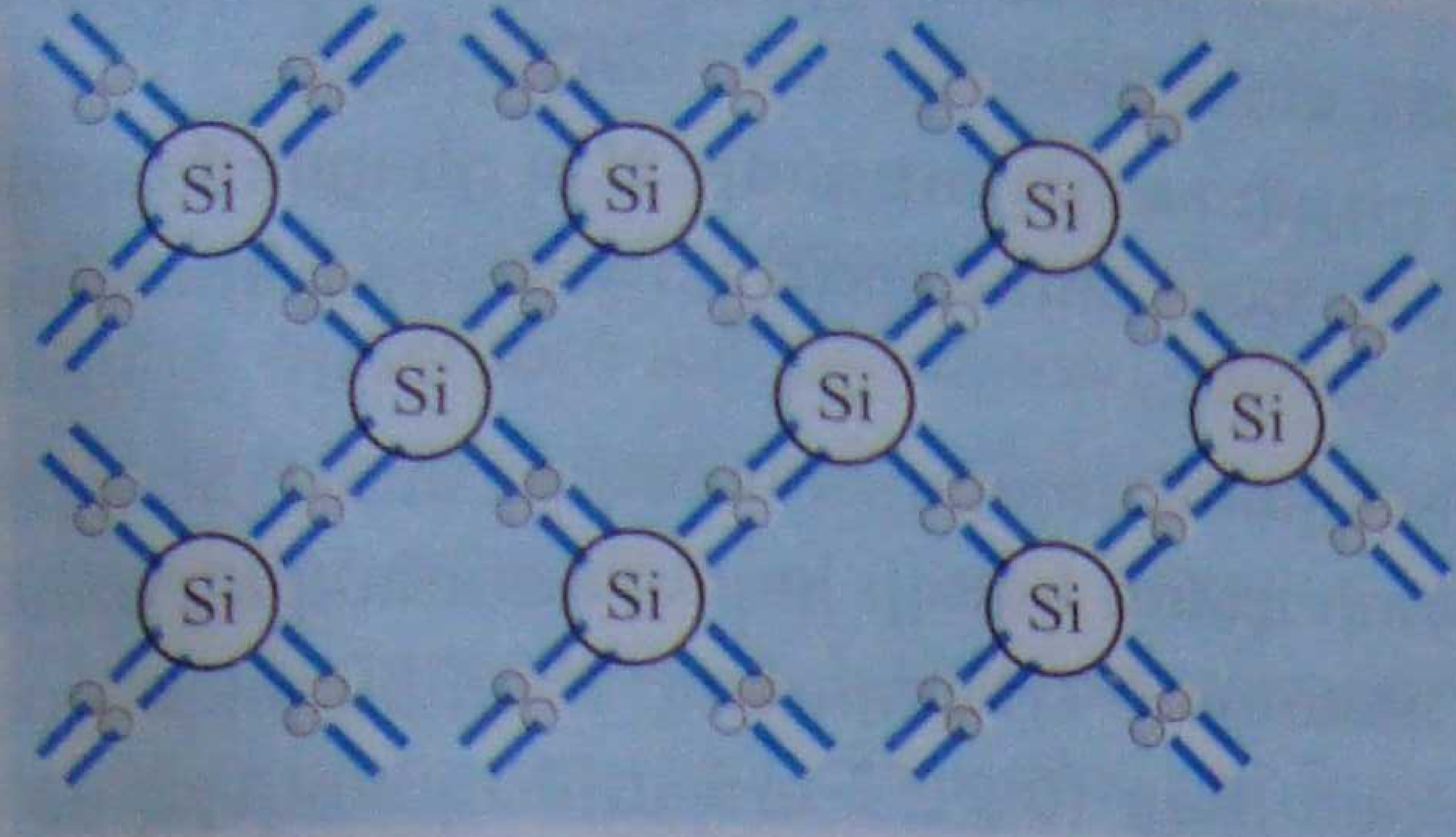
Նկ. 49



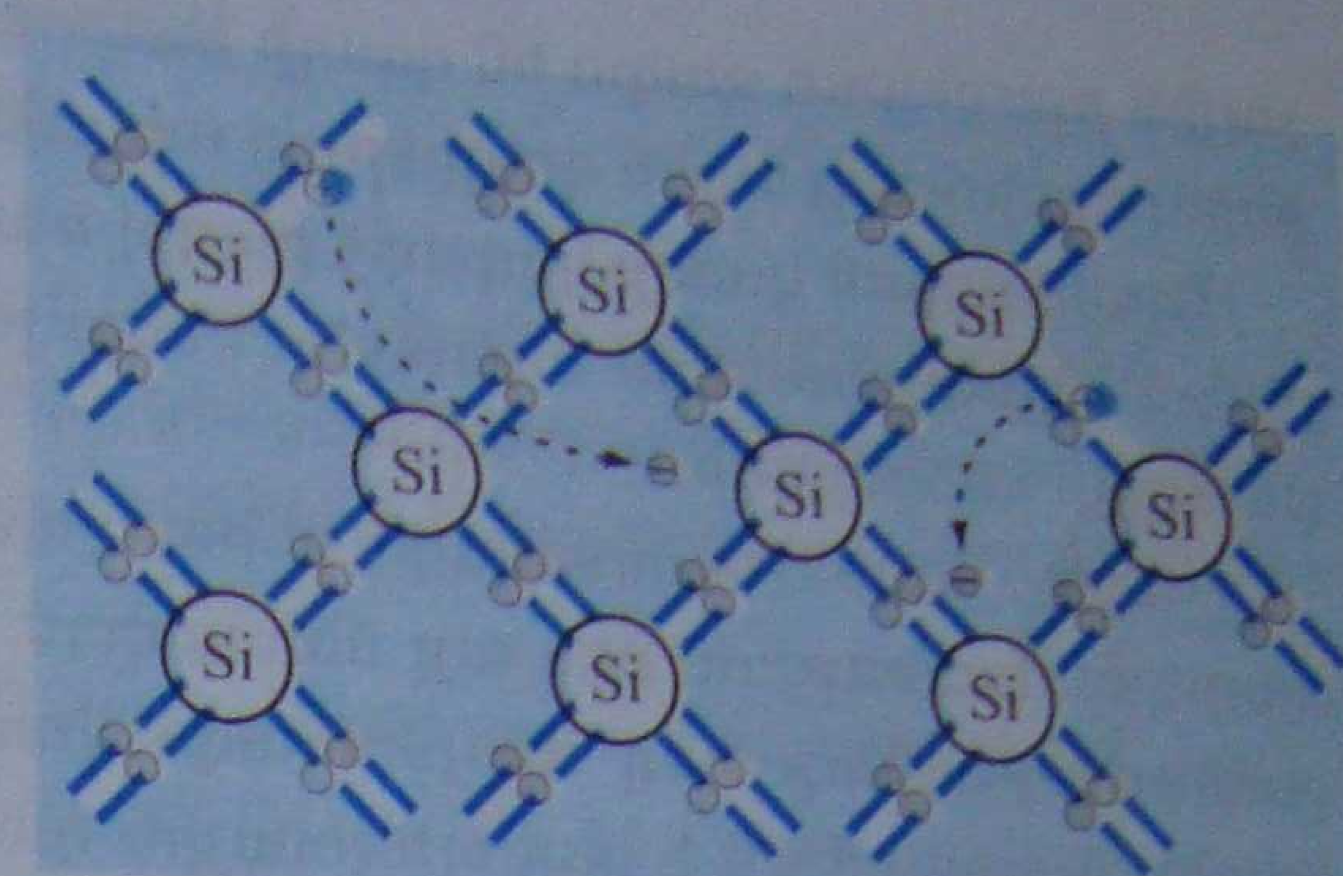
Նկ. 50

Կիսահաղորդիչների ամենաբնորոշ հատկությունը նրանց ֆիզիկական բնութագրերի խիստ արտահայտված կախումն է ջերմաստիճանից, լուսավորվածությունից, ինչպես նաև նրանցում խառնուկների առկայությունից: Ցածր ջերմաստիճաններում կիսահաղորդիչներն ունեն շատ մեծ տեսակարար դիմադրություն և գործնականում մեկուսիչներ են: Սակայն ջերմաստիճանը բարձրացնելուն զուգընթաց նրանց տեսակարար դիմադրությունն արագորեն նվազում է: Այսպես, օրինակ, սենյակային ջերմաստիճանից մինչև 700°C տաքացնելիս գերմանիումի տեսակարար դիմադրությունը փոքրանում է մոտ միլիոն անգամ:

Կիսահաղորդիչների հիմնական հատկությունները կարելի է պարզաբանել հետևյալ պարզ փորձի



Նկ. 51



Նկ. 52

օգնությամբ: Եթե կիսահաղորդչային նմուշը հաջորդաբար միացնենք հոսանքի աղբյուրին ու գալվանոմետրին և սպիրտայրոցի բոցով տաքացնենք այն (նկ. 49), ապա կնկատենք, որ նմուշի ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց հոսանքի ուժը շղթայում աճում է: Սպիրտայրոցը հեռացնելուց հետո, երբ տաք նմուշը սկսում է սառչել, հոսանքի ուժը նվազում է: Այս փորձը վկայում է, որ կիսահաղորդչի դիմադրությունն էապես կախված է ջերմաստիճանից և, ի տարբերություն մետաղների, ջերմաստիճանը բարձրացնելիս նվազում է: Եթե այժմ սառը կիսահաղորդիչը լուսավորենք պայծառ լույսով (նկ. 50), ապա հոսանքի ուժը դարձյալ կաճի. ընդ որում, որքան ուժեղ է լուսավորված կիսահաղորդիչը, այնքան մեծ է հոսանքի ուժը: Այսպիսով՝ կիսահաղորդչի դիմադրությունը կախված է նաև լուսավորվածությունից: Նկարագրված փորձերի արդյունքները բացատրելու համար անհրաժեշտ է ծանոթանալ կիսահաղորդիչների կառուցվածքին:

Կիսահաղորդիչների կառուցվածքը: Առավել բնորոշ և հաճախակի օգտագործվող կիսահաղորդիչներ են գերմանիումի (Ge) և սիլիցիումի (Si) միաբյուրեղները: Սիլիցիումը և գերմանիումը քառարժեք տարրեր են, այսինքն՝ նրանց ատոմների արտաքին էլեկտրոնային թաղանթներում առկա են միջուկի հետ համեմատաբար թույլ կապված չորս արժեքական էլեկտրոններ: Այդ նյութերի բյուրեղային ցանցում յուրաքանչյուր ատոմ շրջապատված է չորս հարևան ատոմներով: Ցանցի հարթ պատկերը բերված է նկ. 51-ում: Բյուրեղային ցանց կազմելիս ատոմներն այնքան են մոտենում իրար, որ յուրաքանչյուր հարևան զույգ ատոմների արժեքական երկու էլեկտրոններն այդ ատոմների համար դառնում են ընդհանուր, և նրանց միջև առաջանում է ***կովալենտ*** կամ ***զույգէլեկտրոնային կապ***: Նկարագրված պատկերը համապատասխանում է մաքուր՝ այլ նյութերի խառնուրդներ չպարունակող սիլիցիումին կամ գերմանիումին: Բավականաչափ ցածր ջերմաստիճաններում բոլոր արժեքական էլեկտրոնները մասնակցում են ատոմների միջև կապերի ստեղծմանը, հետևաբար՝ բյուրեղում ազատ էլեկտրոններ չկան: Այդ պատճառով կիսահաղորդչի ծայրերին էլեկտրական լարում կիրառելիս նրանում հոսանքը գործնականում բացակայում է, այսինքն՝ կիսահաղորդիչն իրեն պահում է որպես մեկուսիչ:

Կիսահաղորդչի սեփական էլեկտրահաղորդականությունը: Կիսահաղորդիչը տաքացնելիս արժեքական էլեկտրոնների ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան աճում է: Որոշ էլեկտրոններ ի վիճակի են լինում խզել իրենց կապերն ատոմների հետ (նկ. 52) և դառնալ ազատ: Այդ էլեկտրոնները կոչվում են ***հաղորդականության էլեկտրոններ***: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս դրանք կատարում են ուղղորդված շարժում՝ ստեղծելով էլեկտրական հոսանք: Արդեն սենյակային ջերմաստիճանում կիսահաղորդ-

չային բյուրեղում առկա են զգալի քանակությամբ ազատ էլեկտրոններ, և դրանց թիվը ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց արագորեն աճում է:

Արժեքական կապը կարող է խզվել նաև լույսի ազդեցությամբ: Այդ դեպքում արժեքական էլեկտրոններն ատոմների հետ իրենց կապերը խզում են ի հաշիվ կլանված լուսային էներգիայի:

Բացի նշված էլեկտրոնային մեխանիզմից, կիսահաղորդչում առկա է նաև էլեկտրահաղորդականության մեկ այլ մեխանիզմ: Կովալենտ կապի խզման ժամանակ առաջանում է բափուր տեղ՝ պայմանավորված հեռացած էլեկտրոնով: Խզման տիրույթը, որտեղ առաջանում է հավելուրդային դրական լիցք (նկ. 52-ում այն պատկերված է $\oplus$ նշանով), անվանում են *խոռոչ*: Խոռոչների գոյացումը լրացուցիչ հնարավորություն է ընձեռում լիցքի տեղափոխման համար: Իրոք, կովալենտ կապն ապահովող էլեկտրոններից որևէ մեկը կարող է ցատկել խոռոչի տեղը և այնտեղ վերականգնել խախտված կովալենտ կապը: Իսկ այնտեղ, որտեղից ցատկել է այդ էլեկտրոնը, կառաջանա նոր խոռոչ: Իր հերթին, այս նոր խոռոչի տեղը կարող է զբաղեցնել կովալենտ կապի մեկ այլ էլեկտրոն և այսպես շարունակ: Չնայած նշված պրոցեսում իրականում տեղափոխվում են կապված էլեկտրոնները, սակայն այն տպավորությունն է ստեղծվում, թե տեղաշարժվում են խոռոչները: Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ խոռոչների տեղաշարժը տեղի է ունենում անկանոն ձևով, և այդ պատճառով հոսանք չի առաջանում: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս առաջանում է խոռոչների ուղղորդված շարժում, և ազատ էլեկտրոնների առաջացրած հոսանքին վերադրվում է նաև խոռոչների տեղափոխությամբ պայմանավորված հոսանքը:

Այսպիսով՝ կիսահաղորդչում հնարավոր են էլեկտրահաղորդականության երկու տարբեր մեխանիզմներ. *էլեկտրոնային*՝ պայմանավորված հաղորդականության էլեկտրոնների շարժմամբ, և *խոռոչային*՝ պայմանավորված խոռոչների շարժմամբ: Մենք քննարկեցինք մաքուր, խառնուկներից զուրկ կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմը: Այդպիսի հաղորդականությունը կոչվում է *սեփական էլեկտրահաղորդականություն*:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում կիսահաղորդիչներ:*
2. *Ինչի՞ց է կախված կիսահաղորդչի դիմադրությունը:*
3. *Նկարագրե՛ք փորձ, որի օգնությամբ կարելի է ցույց տալ, որ կիսահաղորդչի դիմադրությունը կախված է ջերմաստիճանից:*
4. *Ո՞րն է մետաղների և կիսահաղորդիչների դիմադրությունների՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումների տարբերությունը:*
5. *Ի՞նչ կառուցվածք ունեն գերմանիումի և սիլիցիումի բյուրեղները:*
6. *Բացատրե՛ք կիսահաղորդչի սեփական էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմը:*
7. *Ի՞նչ է իրենից ներկայացնում խոռոչը:*
8. *Ինչու՞ սակայն ջերմաստիճաններում կիսահաղորդիչն իրեն պահում է որպես մեկուսիչ:*

չային բյուրեղում առկա են զգալի բանակությամբ ազատ էլեկտրոններ, և դրանց թիվը ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց արագորեն աճում է:

Արժեքական կապը կարող է խզվել նաև լույսի ազդեցությամբ: Այդ դեպքում արժեքական էլեկտրոններն ատոմների հետ իրենց կապերը խզում են ի հաշիվ կլանված լուսային էներգիայի:

Բացի նշված էլեկտրոնային մեխանիզմից, կիսահաղորդչում առկա է նաև էլեկտրահաղորդականության մեկ այլ մեխանիզմ: Կովալենտ կապի խզման ժամանակ առաջանում է թափուր տեղ՝ պայմանավորված հեռացած էլեկտրոնով: Խզման տիրույթը, որտեղ առաջանում է հավելուրդային դրական լիցք (նկ. 52-ում այն պատկերված է ⊕ նշանով), անվանում են ***խոռոչ***: Խոռոչների գոյացումը լրացուցիչ հնարավորություն է ընձեռում լիցքի տեղափոխման համար: Իրոք, կովալենտ կապն ապահովող էլեկտրոններից որևէ մեկը կարող է ցատկել խոռոչի տեղը և այնտեղ վերականգնել խախտված կովալենտ կապը: Իսկ այնտեղ, որտեղից ցատկել է այդ էլեկտրոնը, կառաջանա նոր խոռոչ: Իր հերթին, այս նոր խոռոչի տեղը կարող է զբաղեցնել կովալենտ կապի մեկ այլ էլեկտրոն և այսպես շարունակ: Չնայած նշված պրոցեսում իրականում տեղափոխվում են կապված էլեկտրոնները, սակայն այն տպավորությունն է ստեղծվում, թե տեղաշարժվում են խոռոչները: Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ խոռոչների տեղաշարժը տեղի է ունենում անկանոն ձևով, և այդ պատճառով հոսանք չի առաջանում: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս առաջանում է խոռոչների ուղղորդված շարժում, և ազատ էլեկտրոնների առաջացրած հոսանքին վերադրվում է նաև խոռոչների տեղափոխությամբ պայմանավորված հոսանքը:

Այսպիսով՝ կիսահաղորդչում հնարավոր են էլեկտրահաղորդականության երկու տարբեր մեխանիզմներ. ***էլեկտրոնային***՝ պայմանավորված հաղորդականության էլեկտրոնների շարժմամբ, և ***խոռոչային***՝ պայմանավորված խոռոչների շարժմամբ: Մենք քննարկեցինք մաքուր, խառնուկներից զուրկ կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմը: Այդպիսի հաղորդականությունը կոչվում է ***սեփական էլեկտրահաղորդականություն***:

Հարցեր և առաջադրանքներ

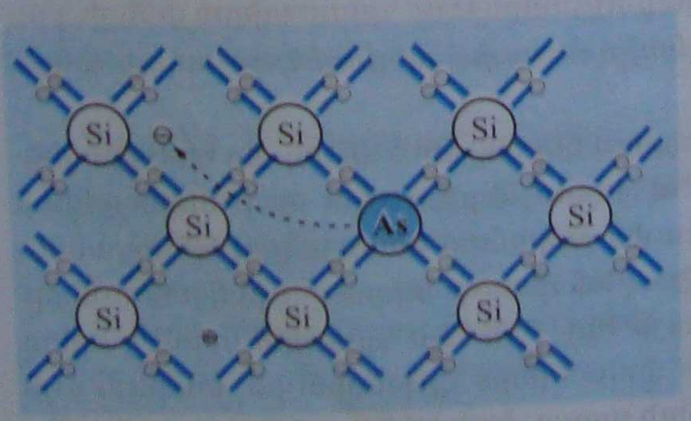
1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում կիսահաղորդիչներ:*
2. *Ինչի՞ց է կախված կիսահաղորդչի դիմադրությունը:*
3. *Նկարագրե՛ք փորձ, որի օգնությամբ կարելի է ցույց տալ, որ կիսահաղորդչի դիմադրությունը կախված է ջերմաստիճանից:*
4. *Ո՞րն է մետաղների և կիսահաղորդիչների դիմադրությունների՝ ջերմաստիճանից ունեցած կախումների տարբերությունը:*
5. *Ի՞նչ կառուցվածք ունեն գերմանիումի և սիլիցիումի բյուրեղները:*
6. *Բացատրե՛ք կիսահաղորդչի սեփական էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմը:*
7. *Ի՞նչ է իրենից ներկայացնում խոռոչը:*
8. *Ինչու՞ ցածր ջերմաստիճաններում կիսահաղորդիչն իրեն պահում է որպես մեկուսիչ:*

§ 33. Կիսահաղորդիչների խառնուկային էլեկտրահաղորդականությունը

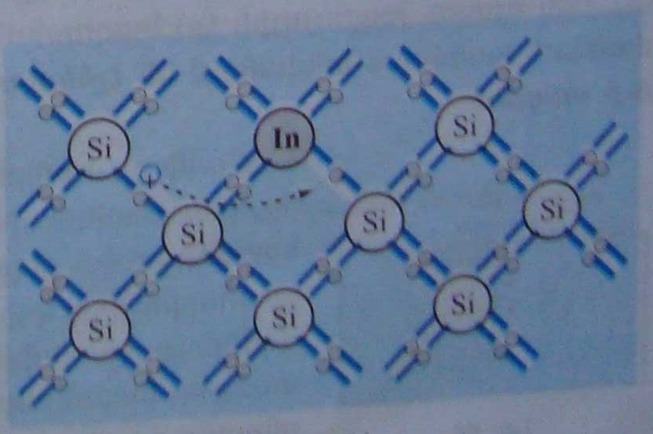
Սովորաբար կիսահաղորդիչների սեփական էլեկտրահաղորդականությունը մեծ չէ, քանի որ նրանցում առկա ազատ լիցքակիրների կոնցենտրացիան մետաղում պարունակվող ազատ էլեկտրոնների բնութագրական՝ 10^{29} մ$^{-3}$ կոնցենտրացիայի համեմատությամբ շատ փոքր է:

Կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականությունը կարող է էապես աճել խառնուկների առկայությամբ: Այսպես, օրինակ, ընդամենը 0,001% ֆոսֆորի առկայությունը սիլիցիումի էլեկտրահաղորդականությունը մեծացնում է ավելի քան 100000 անգամ: Խառնուկների նման ազդեցությունը հասկանալու համար նորից անդրադառնանք սիլիցիումի կառուցվածքին և ենթադրենք, որ նրա բյուրեղային ցանցում որոշ ատոմներ տեղակալված են հնգարժեք նյութի, օրինակ՝ արսենի (As) ատոմներով (նկ. 53): Այդպիսի բյուրեղ կարելի է ստանալ հալված վիճակում սիլիցիումին արսեն ավելացնելով և ապա՝ սառեցման միջոցով խառնուրդը բյուրեղացնելով: Բյուրեղում արսենի յուրաքանչյուր ատոմի արժեքական հինգ էլեկտրոններից չորսը մասնակցում են հարևան չորս ատոմների հետ արժեքական կապերի ստեղծմանը, իսկ միջուկի հետ համեմատաբար թույլ կապված հինգերորդ էլեկտրոնը նույնիսկ սենյակային ջերմաստիճաններում ցանցի ջերմային տատանումների արդյունքում լքում է ատոմը և դառնում ազատ: Նման եղանակով արսենի գրեթե բոլոր ատոմներն առաջացնում են հաղորդականության մեկական էլեկտրոն և վերածվում են դրականապես լիցքավորված իոնների: Այդ իոնները խոռոչներ չեն, քանի որ հարևան բոլոր չորս ատոմների հետ ունեն լրացված կապեր:

Հեշտությամբ էլեկտրոններ տվող և, հետևաբար, հաղորդականության էլեկտրոնների թիվը մեծացնող խառնուկները կոչվում են ***դոնորային*** (լատիներեն «դոնարե»՝ նվիրել բառից): Քանի որ դոնորային խառնուկների նույնիսկ չնչին քանակի առկայությամբ խառնուկների ատոմներից պոկված էլեկտրոնների թիվն էապես գերազանցում է սեփական հաղորդականության խոռոչների թիվը, ապա այդպիսի կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականությունը հիմնականում պայմանավորված է էլեկտրոններով: Դա է պատճառը, որ դոնորային խառնուկներ պարունակող կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականությունն անվանում են ***էլեկտրոնային,*** իսկ այդպիսի կիսահաղորդիչները՝ *n*-տիպի (լատիներեն «նեգատիվուս»՝ բացասական բառի սկզբնատառը):



Նկ. 53



Նկ. 54

Եթե սիլիցիումի կամ գերմանիումի բյուրեղային ցանցի մեջ ներմուծենք եռարժեք նյութի, օրինակ, ինդիումի (In) ատոմներ, ապա նրանցից յուրաքանչյուրի երեք արժեքական էլեկտրոնները չեն բավականացնի քառարժեք սիլիցիումի հարևան չորս ատոմների հետ կովալենտ կապեր ստեղծելու համար: Խառնուկի յուրաքանչյուր ատոմ իր երեք արժեքական էլեկտրոններով կովալենտ կապերի մեջ կմտնի սիլիցիումի հարևան երեք ատոմների հետ, իսկ չորրորդ կապը կմնա չլրացված: Այդ կապը լրացվում է սիլիցիումի որևէ ատոմի արժեքական էլեկտրոնի օգնությամբ (նկ. 54): Սիլիցիումի արժեքական էլեկտրոնի բավական մեծ հավանականությամբ առաջանում է խոռոչ, իսկ ինդիումի ատոմը վերածվում է բացասականացված լիցքավորված իոնի: Այսպիսով՝ խառնուկը, սիլիցիումի ատոմներից էլեկտրոններ վերցնելով, բյուրեղում առաջացնում է խոռոչներ:

Կիսահաղորդչում խոռոչների թիվը մեծացնող եռարժեք խառնուկները կոչվում են ***ակցեպտորային*** (լատիներեն «ակցեպտոր»՝ ընդունող բառից): Ակցեպտորային խառնուկների առկայության դեպքում կիսահաղորդչում էլեկտրական հոսանքը հիմնականում պայմանավորված է խոռոչների շարժմամբ: Այդ պատճառով ակցեպտորային խառնուկներ պարունակող կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականությունն անվանում են ***խոռոչային***, իսկ այդպիսի կիսահաղորդիչները՝ *p*-տիպի (լատիներեն «պոզիտիվուս»՝ դրական բառի սկզբնատառից):

Այսպիսով՝ ***էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում պայմանավորված է էլեկտրոնների և խոռոչների ուղղորդված շարժումով:***

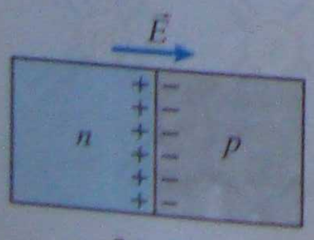
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Թերե՛ք դոնորային և ակցեպտորային խառնուկների օրինակներ:*
2. *Բացատրե՛ք, թե ինչ է տեղի ունենում, երբ կիսահաղորդչին ավելացնում են դոնորային կամ ակցեպտորային խառնուկ:*
3. *Ո՞ր կիսահաղորդիչն է կոչվում n-տիպի:*
4. *Ո՞ր կիսահաղորդիչն է կոչվում p-տիպի:*
5. *Ինչպիսի՞ն է էլեկտրական հոսանքի բնույթը կիսահաղորդիչներում:*

§ 34. Էլեկտրոնախոռոչային (n-p) անցում

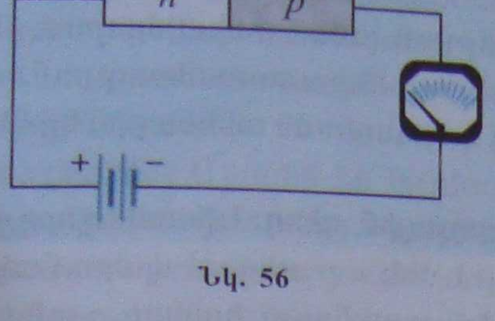
Հետաքրքիր ֆիզիկական երևույթներ են դիտվում տարբեր բնույթի էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված երկու կիսահաղորդիչների բաժանման սահմանում:

Դիտարկենք կիսահաղորդչային բյուրեղ, որի մի մասն օժտված է էլեկտրոնային (*n*), իսկ մյուսը՝ խոռոչային (*p*) հաղորդականությամբ: Այդ երկու տիրույթների բաժանման սահմանն անվանում են ***էլեկտրոնախոռոչային անցում*** կամ ավելի կարճ՝ ***n-p անցում***:

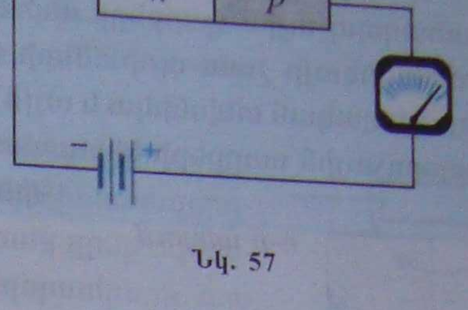


Նկ. 55

Քանի որ *n*-տիրույթում գերակշռում են ազատ էլեկտրոնները, իսկ *p*-տիրույթում՝ խոռոչները, ապա այդ տիրույթների կպման պահին ջերմային շարժման հետևանքով էլեկտրոնները *n*-տիրույթից կդիֆուզվեն դեպի *p*-տիրույթը, իսկ խոռոչները՝ *p*-տիրույթից *n*-տիրույթ (նկ. 55): Այս երևույթը նման է երկու տարբեր հեղուկների փոխադարձ դիֆուզիային, սակայն այն ընթանում է շատ ավելի արագ: Երբ էլեկտրոնները և խոռոչնե-



Նկ. 56



Նկ. 57

րը լիցքավորված չլինեին, ապա դիֆուզիան կընթանար այնքան ժամանակ, մինչև երկու տիրույթներում նրանց կոնցենտրացիաները կհավասարվեին: Սակայն այն ընդհատվում է ավելի վաղ, քանի որ դիֆուզիայի արդյունքում n-տիրույթը լիցքավորվում է դրական, իսկ p-տիրույթը՝ բացասական լիցքով: Երկու տիրույթների բաժանման սահմանի ներ շերտում առաջանում է արգելակող էլեկտրական դաշտ (պոտենցիալների տարբերություն), որը խոչընդոտում է լիցքակիրների հետագա տեղաշարժը:

Այժմ պարզենք, թե ինչ տեղի կունենա, երբ n-p անցումով կիսահաղորդչի ծայրերին կիրառենք արտաքին լարում: Եթե n-p անցումով կիսահաղորդիչը միացնենք հոսանքի աղբյուրին այնպես, որ նրա դրական բևեռը միացված լինի n-տիրույթին, իսկ բացասականը՝ p-տիրույթին (նկ. 56), ապա շղթայում հոսանքը կբացակայի: Այդպիսի միացումը կոչվում է հակադարձ: Հակադարձ միացման դեպքում հոսանքի աղբյուրի ստեղծած էլեկտրական դաշտի լարվածության ուղղությունը համընկնում է n-p անցման արգելակող դաշտի լարվածության ուղղության հետ, և լիցքերի տեղափոխություն տեղի չի ունենում:

Եթե հոսանքի աղբյուրի դրական բևեռը միացվում է p-տիրույթին, իսկ բացասական բևեռը՝ n-տիրույթին (նկ. 57), ապա շղթայով հոսանք է անցնում: Այդպիսի միացումը կոչվում է ուղիղ: Ուղիղ միացման դեպքում հոսանքի աղբյուրի ստեղծած էլեկտրական դաշտի լարվածությունը հակառակ է ուղղված n-p անցման արգելակող դաշտի լարվածությանը, որի արդյունքում ազատ լիցքակիրները տեղաշարժվում են շղթայով:

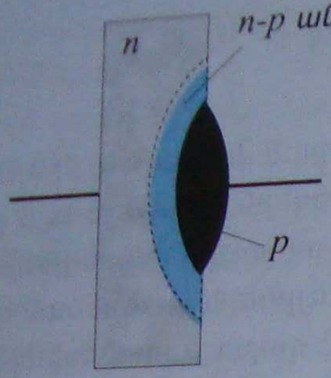
Այսպիսով՝ n-p անցումն օժտված է միակողմանի էլեկտրահաղորդականությամբ. այն մի ուղղությամբ հաղորդում է էլեկտրական հոսանք, իսկ հակառակ ուղղությամբ՝ ոչ: Այլ խոսքով, նրա դիմադրությունը կախված է հոսանքի ուղղությունից. ուղիղ միացման դեպքում այն ունի վերջավոր դիմադրություն և հանդես է գալիս որպես կիսահաղորդիչ, իսկ հակադարձ միացման դեպքում նրա դիմադրությունը շատ մեծ է, և այն դրսևորում է մեկուսիչի հատկություններ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Բացատրե՛ք, թե ինչպես է առաջանում էլեկտրոնախոռոչային անցումը:*
2. *Ինչու՞ է n-p անցումն օժտված միակողմանի էլեկտրահաղորդականությամբ:*
3. *Բացատրե՛ք n-p անցման սահմանի վրա փակող լարման առաջացման մեխանիզմը:*

§ 35. Կիսահաղորդչային սարքեր

Կիսահաղորդչային սարքերը մեծ կիրառություն ունեն տեխնիկայում: Ժամանակակից տեխնիկայի շատ ոլորտների (ռադիոկապ, հեռուստատեսություն, ավտոմատիկա, հաշվողական տեխնիկա և այլն) արագ զարգացումն անհնարին կլիներ առանց կիսահաղորդչային սարքերի կիրառման:

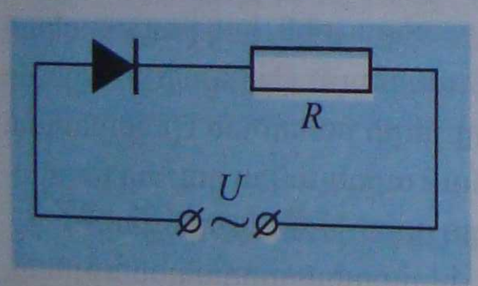


Նկ. 58

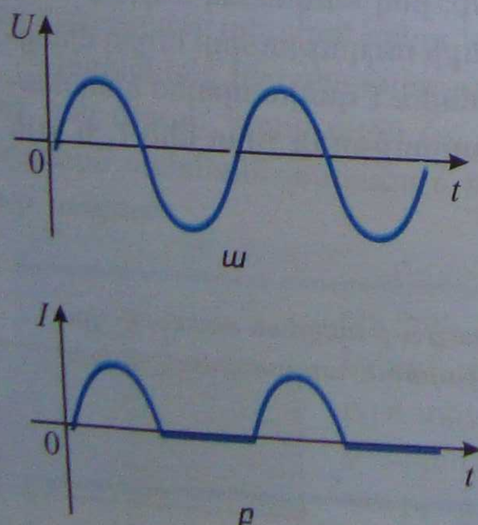
Կիսահաղորդչային դիոդ: Կիսահաղորդչային դիոդը բաղկացած է մեկ n-p անցում պարունակող կիսահաղորդչից: Այն ստանալու համար n-տիպի հաղորդականությամբ օժտված գերմանիումի բյուրեղի մակերևույթին լցնում են հալած ինդիում: Դիֆուզիայի շնորհիվ ինդիումի ատոմները ներթափանցում են գերմանիումի մեջ և նրանում առաջացնում p հաղորդականությամբ օժտված տիրույթ: Գերմանիումի բյուրեղի մնացած մասը, որտեղ ինդիումի ատոմները չեն թափանցել, ունենում է n-տիպի հաղորդականություն: Այդ երկու տիրույթների միջև առաջանում է n-p անցում (նկ. 58):

Նկ. 59

Կիսահաղորդչային դիոդի արտաքին տեսքը և պայմանական նշանը պատկերված են նկ. 59-ում: Կիսահաղորդչային դիոդն օգտագործում են փոփոխական հոսանքն ուղղելու համար: Մեկ դիոդից կազմված հոսանքի պարզագույն ուղղիչի սխեման պատկերված է նկ. 60-ում: Քանի որ n-p անցումն օժտված է միակողմանի հաղորդականությամբ, ապա նրա ծայրերին փոփոխական լարում կիրառելիս (նկ. 61,ա) R դիմադրությամբ հոսանք կանցնի միայն այն ժամանակամիջոցներում, երբ n-տիրույթին տրվում է բացասական, իսկ p-տիրույթին՝ դրական պոտենցիալ: Արդյունքում ստացվում է միևնույն ուղղությամբ բաբախող հոսանք (նկ. 61,բ):



Նկ. 60

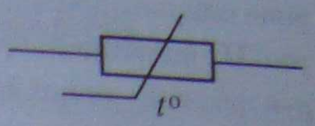


Նկ. 61

Համեմատած համանման սարքերի հետ՝ կիսահաղորդչային դիոդն ունի մի շարք առավելություններ՝ համեմատաբար մեծ օգտակար գործողության գործակից, փոքր չափեր և զանգված, շահագործման երկար ժամանակ, մեխանիկական մեծ ամրություն: Թերությունն այն է, որ նրա բնութագրիչները կախված են ջերմաստիճանից:

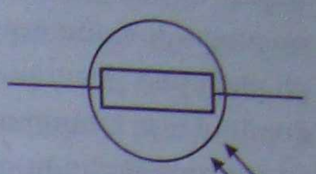
Ջերմադիմադրիչ: Կիսահաղորդչային այս սարքի աշխատանքի հիմքում ընկած է կիսահաղորդչի դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության երևույթը: Ջերմաստիճանը $-50°C$-ից մինչև $100°C$ փոփոխվելիս ջերմադիմադրիչի դիմադրությունը փոփոխվում

է մի քանի կարգով: Դա թույլ է տալիս այդ սարքերն օգտագործել հեռավորության վրա ջերմաստիճաններ չափելու համար: Դրանք օգտագործվում են հակահրդեհային ազդանշանային սարքերում և այլուր: Ջերմադիմադրիչի պայմանական նշանը բերված է նկ. 62-ում:

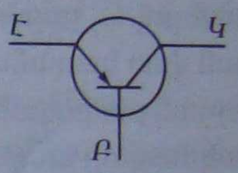


Նկ. 62

Ֆոտոռեզիստոր: Այսպես են կոչվում այն սարքերը, որոնց գործողությունը հիմնված է լույսի ազդեցությամբ կիսահաղորդչի դիմադրության փոփոխության երևույթի վրա: Դրանք օգտագործվում են թույլ լուսային հոսքեր գրանցելու կամ չափելու, արտադրանքի չափերը որոշելու, քանակը հաշվելու համար: Օրինակ՝ արտադրանքի քանակը հաշվելիս շարժվող հարահոսի վրա գտնվող նմուշները պարբերաբար հատում են դեպի ֆոտոռեզիստորն ուղղված լույսի ճառագայթը, որի հետևանքով պարբերաբար փոփոխվում է հոսանքի ուժը: Դա հնարավորություն է տալիս գրանցել արտադրանքի քանակը: Ֆոտոռեզիստորի պայմանական նշանը բերված է նկ. 63-ում:


Նկ. 63

Տրանզիստոր: Տրանզիստորը (անգլերեն «տրանսֆեր»՝ տեղափոխել և «ռեզիստոր»՝ դիմադրություն բառերից): Ժամանակակից տեխնիկայում չափազանց լայն կիրառություն ունեցող կիսահաղորդչային սարք է: Այն օգտագործում են էլեկտրական ազդանշանների վերարտադրման (գեներացման) և ուժեղացման համար: Տրանզիստորի հիմնական տարրը երեք տիրույթներից բաղկացած կիսահաղորդչային բյուրեղն է, որի երկու ծայրերն օժտված են խոռոչային (p-տիպի) հաղորդականությամբ, իսկ նրանց միջև գտնվող բարակ շերտը՝ էլեկտրոնային (n-տիպի) հաղորդականությամբ: Այդպիսի տրանզիստորները կոչվում են p-n-p տիպի: Գոյություն ունեն նաև n-p-n տիպի տրանզիստորներ, որոնցում երկու n-տիպի հաղորդականությամբ օժտված տիրույթներն իրարից բաժանվում են p-տիպի հաղորդականությամբ բարակ շերտով: Տրանզիստորի արտաքին տեսքը և պայմանական նշանը պատկերված են նկ. 64-ում:

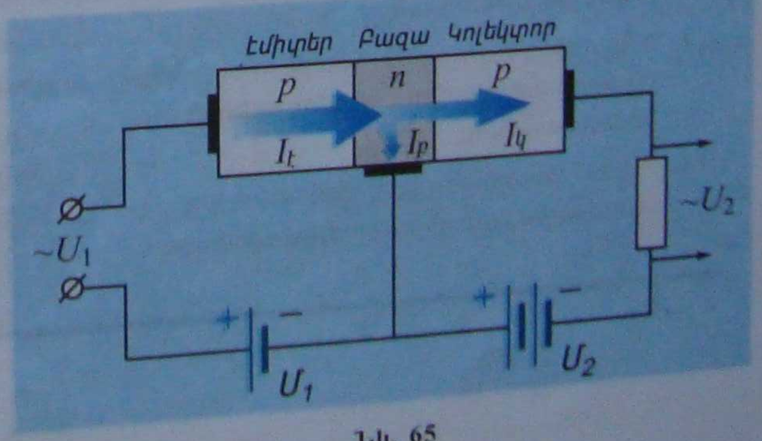


Նկ. 64

Քննարկենք p-n-p տիպի տրանզիստորի աշխատանքի սկզբունքը: Այն բաղկացած է երկու՝ p-n և n-p անցումներից (նկ. 65):

Բյուրեղի ձախ տիրույթն անվանում են ***էմիտեր***, աջ տիրույթը՝ ***կոլեկտոր***, իսկ այդ տիրույթներն իրարից բաժանող բարակ շերտը՝ ***բազա***:

Նկարում պատկերված շղթայում ձախ՝ p-n անցումն ուղիղ անցում է: U_1 մարտկոցի և փոփոխական U_2 լարման աղբյուրի ազդեցությամբ նրանում առաջանում է զգալի հոսանք ($I_է$): Այդ հոսանքը հիմնականում պայմանավորված է խոռոչների շարժմամբ, քանի որ էմիտերում խոռոչների թիվը



Նկ. 65

շատ անգամ գերազանցում է բազայում հաղորդականության էլեկտրոնների թիվը: Շղթայում M_2 մարտկոցը միացված է այնպես, որ աջ՝ n-p անցումը փակ է, և եթե չլիներ ձախ p-n անցումը, ապա նրանով հոսանք չէր անցնի: Իրականում էմիտերի շղթան միացնելիս կոլեկտորի շղթայում նույնպես հոսանք է առաջանում: Դա տեղի է ունենում հետևյալ կերպ: Էմիտերի հիմնական լիցքակիրները՝ խոռոչները, թափանցում են բազա: Քանի որ բազայի հաստությունը շատ փոքր է, և նրանում հաղորդականության էլեկտրոնների թիվը մեծ չէ, ապա այնտեղ թափանցած խոռոչների միայն չնչին մասն է վերամիավորվում այդ էլեկտրոնների հետ: Խոռոչների զգալի մասը դիֆուզվում է կոլեկտոր և M_2 մարտկոցի ստեղծած էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ տեղափոխվում՝ առաջացնելով էլեկտրական հոսանք:

Քանի որ բազայի լայնական հատույթի մակերեսը շատ փոքր է նրա երկայնական հատույթի մակերեսից, ապա բազայից էմիտերի շղթայում ճյուղավորվող I_p հոսանքի ուժը շատ փոքր է, և, հետևաբար, կոլեկտորում $I_կ$ հոսանքի ուժը գրեթե հավասար է էմիտերում $I_է$ հոսանքի ուժին՝ $I_կ = I_է$: Ինչ օրենքով փոփոխվում է էմիտերային հոսանքը, նույն օրենքով էլ փոփոխվում է կոլեկտորային հոսանքը: Էմիտերային հոսանքը փոխելով U_1 լարման աղբյուրի միջոցով՝ կոլեկտորի շղթայում միացված R դիմադրության վրա կստանանք $U_2 = I_կ R$ լարման համաժամանակյա փոփոխություն: R դիմադրության բավականաչափ մեծ արժեքների դեպքում այդ փոփոխությունը կարող է տասնյակ հազար անգամ գերազանցել U_1 լարման փոփոխությանը: Դա նշանակում է, որ տեղի է ունենում լարման ուժեղացում: Քանի որ հոսանքի ուժը էմիտերի և կոլեկտորի շղթաներում գրեթե նույնն է, ապա R դիմադրության վրա անջատված հզորությունը ևս էապես գերազանցում է էմիտերի շղթայում ծախսված հզորությանը: Այսպիսով՝ տեղի է ունենում նաև հզորության ուժեղացում:

Տրանզիստորը հայտնագործել են ամերիկացի գիտնականներ Ջ.Բարդինը, Ու.Բրատեյնը և Ու.Շոկլին 1948 թ., որի համար 1956 թ. արժանացել են Նոբելյան մրցանակի:

1960-ական թվականների սկզբից կիսահաղորդիչների և կիսահաղորդչային սարքերի ֆիզիկայի բնագավառում կարևոր գիտական հետազոտություններ են կատարվել նաև հայ ֆիզիկոսների կողմից:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի կիսահաղորդչային դիոդը:*
2. *Ո՞ր երևույթի վրա է հիմնված ջերմադիմադրիչի աշխատանքը:*
3. *Ի՞նչ առավելություն ունեն ջերմադիմադրիչները սովորական ջերմաչափերի համեմատությամբ:*
4. *Ինչո՞ւ կիսահաղորդչի մակերևույթը լուսավորելիս նրա դիմադրությունը փոքրանում է:*
5. *Ի՞նչ կիրառություններ ունեն լուսադիմադրությունները:*
6. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի տրանզիստորը:*
7. *Նկարագրե՛ք p-n-p տիպի տրանզիստորի աշխատանքի սկզբունքը:*
8. *Ի՞նչ էներգիայի հաշվին է տեղի ունենում էլեկտրական ազդանշանի հզորության ուժեղացումը տրանզիստորում:*

§ 36. Էլեկտրական հոսանքը էլեկտրոլիտների լուծույթում

Էլեկտրոլիտներ: Եթե բորած ջրի մեջ իջեցնենք երկու մետաղե թիթեղներ և դրանք համապատասխանաբար միացնենք հոսանքի աղբյուրի դրական և բացասական բևեռներին, ապա շղթայում հաջորդաբար միացված ամպերմետրը հոսանք կցույց չի տա: Հոսանքը կբացակայի նաև այն դեպքում, երբ բորած ջրի մեջ լուծենք շաքար կամ գլիցերին: Իսկ եթե բորած ջրին ավելացնենք որևէ աղ, ալկալի կամ թթու, ապա կնկատենք, որ ամպերմետրի սլաքը շեղվում է, այսինքն՝ լուծույթը դառնում է հաղորդիչ, և նրանով հոսանք է անցնում: Հաղորդիչներ են նաև աղերի և ալկալիների հալույթները:

Այս փորձերը ցույց են տալիս, որ ոչ բոլոր հեղուկներն են հաղորդիչներ:

Աղերի, ալկալիների և թթուների ջրային լուծույթները, ինչպես նաև աղերի և ալկալիների հալույթներն էլեկտրական հոսանքի հաղորդիչներ են: Այդ նյութերը կոչվում են ***էլեկտրոլիտներ:***

Էլեկտրոլիտային դիսոցում: Քանի որ էլեկտրոլիտների ջրային լուծույթներն ու հալույթները էլեկտրական հոսանքի հաղորդիչներ են, ապա դրանցում պետք է առկա լինեն ազատ լիցքակիրներ: Պարզենք, թե ինչ մասնիկներ են դրանք և ինչպես են առաջանում:

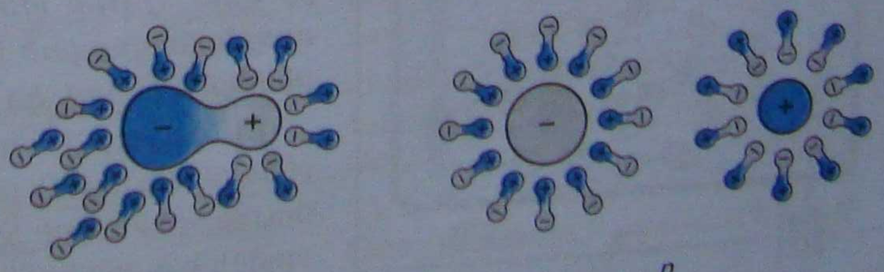
Գրեթե բոլոր աղերի, ալկալիների և թթուների մոլեկուլներում ատոմները միմյանց հետ կապված են իոնային կապով: Օրինակ՝ կերակրի աղի (NaCl) մոլեկուլը կազմված է նատրիումի դրականապես լիցքավորված Na^+ և քլորի բացասականապես լիցքավորված Cl^- իոններից: Ունենալով տարբեր նշանի լիցքեր՝ այդ իոնները ձգում են միմյանց և միանալով՝ կազմում NaCl մոլեկուլ:

Էլեկտրոլիտը ջրում լուծելիս ջրի բևեռային մոլեկուլները էլեկտրոլիտի մոլեկուլի էլեկտրական դաշտում դասավորվում են այնպես, որ էլեկտրոլիտի մոլեկուլի դրական իոնը շրջապատվում է ջրի մոլեկուլների բացասական բևեռներով, իսկ բացասական իոնը՝ դրական բևեռներով (նկ. 66, ա): Արդյունքում իոնների ձգողության ուժը թուլանում է ε անգամ, որտեղ ε-ը ջրի դիէլեկտրական թափանցելիությունն է: Էլեկտրոլիտի մոլեկուլները, մասնակցելով ջերմային շարժմանը, անընդհատ ենթարկվում են բախումների: Բախվելով բավականաչափ մեծ արագություն ունեցող մոլեկուլների հետ՝ նրանք տրոհվում են առանձին իոնների (նկ. 66, բ):

Նկարագրված պրոցեսը կոչվում է ***էլեկտրոլիտային դիսոցում***:

Դիսոցման հետևանքով առաջացած տարանուն լիցքավորված իոնները, անկանոն շարժման ընթացքում հանդիպելով միմյանց, կարող են միավորվել, կազմելով չեզոք մոլեկուլ: Այդ պրոցեսը կոչվում է ***վերամիավորում (ռեկոմբինացիա)***:

Այսպիսով, մի կողմից՝ տեղի է ունենում մոլեկուլների դիսոցում, որի արդյունքում առաջանում են դրական և բացասական իոններ, մյուս կողմից՝ այդ իոնները վերամիավորվում են, առաջացնելով չեզոք մոլեկուլներ: Սկզբնական պահին դիսոցվող մոլեկուլների թիվը զգալիորեն մեծ է վերամիավորման արդյունքում առաջացած մոլեկուլների թվից: Սակայն որոշ ժա-



ա բ

Նկ. 66

մանակ անց այդ երկու՝ իրար հակառակ ընթացող պրոցեսների միջև հաստատվում է շարժուն հավասարակշռություն, այսինքն՝ միավոր ժամանակում որքան մոլեկուլ դիսոցվում է, նույնքան էլ առաջանում է վերամիավորման շնորհիվ: Շարժուն հավասարակշռության վիճակը բնութագրվում է լուծված նյութի *դիսոցման աստիճանով*, որը տրոհված մոլեկուլների թվի հարաբերությունն է լուծված նյութի մոլեկուլների լրիվ թվին:

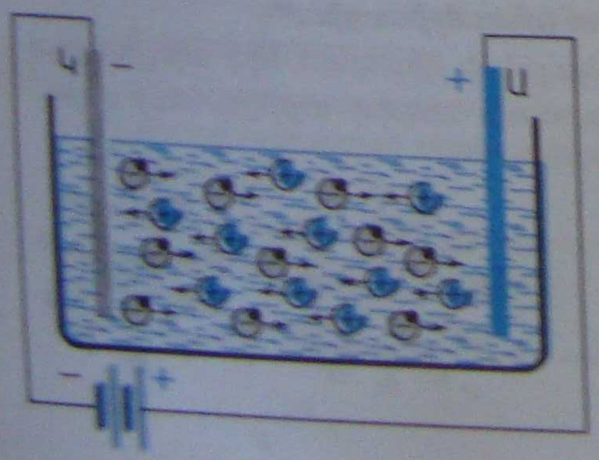
Դիսոցման աստիճանը կախված է լուծված նյութի կոնցենտրացիայից և լուծիչի ε դիէլեկտրական թափանցելիությունից: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս դիսոցման աստիճանն աճում է: Քանի որ ջուրն օժտված է մեծ դիէլեկտրական թափանցելիությամբ ($\varepsilon = 81$), ապա համեմատած այլ լուծիչների հետ՝ էլեկտրոլիտների դիսոցման աստիճանը նրանում ավելի մեծ է:

Էլեկտրահաղորդականության բնույթը էլեկտրոլիտների լուծույթներում: Քանի դեռ էլեկտրոլիտի լուծույթում արտաքին էլեկտրական դաշտը բացակայում է, նրանում առկա իոնները կատարում են քաոսային շարժում: Էլեկտրական դաշտի առկայությամբ, քաոսային շարժման հետ մեկտեղ, նրանք կատարում են նաև ուղղորդված շարժում: Դրական իոնները շարժվում են դեպի բացասական էլեկտրոդը՝ ***կաթոդը***, իսկ բացասական իոնները՝ դեպի դրական էլեկտրոդը՝ ***անոդը*** (նկ. 67), և էլեկտրոլիտի լուծույթում առաջանում է էլեկտրական հոսանք:

Այսպիսով՝ ***էլեկտրոլիտների լուծույթներում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված է դրական և բացասական իոնների ուղղորդված շարժմամբ:*** Փորձը ցույց է տալիս, որ, ինչպես և մետաղները, էլեկտրոլիտների լուծույթները ենթարկվում են Օհմի օրենքին, այսինքն՝ հոսանքի ուժը նրանցում ուղիղ համեմատական է կիրառված լարմանը:

Սակայն, ի տարբերություն մետաղների, ջերմաստիճանը բարձրացնելիս էլեկտրոլիտի լուծույթի դիմադրությունը փոքրանում է, ինչը պայմանավորված է իոնների կոնցենտրացիայի աճով:

Էլեկտրոլիզ: Ի տարբերություն մետաղների՝ էլեկտրոլիտների լուծույթներում էլեկտրական հոսանքն ուղեկցվում է նյութի տեղափոխությամբ: Նյութի բացասական իոնները, հասնելով անոդին, նրան են տալիս իրենց ավելցուկային էլեկտրոնները (օքսիդացման ռեակցիա) և չեզոք ատոմների տեսքով անջատվում նրա վրա: Դրական իոնները, հասնելով կաթոդին, նրանից վերցնում են պակասող էլեկտրոնները (վերականգնման ռեակցիա) և չեզոքանալով՝ անջատվում են նրա վրա: Անոդի վրա անջատված իոնները, այսինքն՝ բացասական լիցք կրողները, կոչվում են ***անիոններ***, իսկ կաթոդի վրա անջատվածները, այսինքն՝ դրական լիցք կրողները՝ ***կատիոններ***: ***Լուծույթով էլեկտրական հոսանք անցնելիս էլեկտրոդների վրա նյութի անջատման պրոցեսը, որը պայմանավորված է օքսիդավերականգնման ռեակցիաներով, կոչվում է էլեկտրոլիզ:***



Նկ. 67

Էլեկտրոլիզի երևույթը մանրամասնորեն քննարկենք պղնձի քլորիդի ($CuCl_2$) ջրային լուծույթի օրինակով: Ջրում $CuCl_2$-ը դիսոցվում է պղնձի և քլորի իոնների՝

$$CuCl_2 \rightarrow Cu^{2+} + 2Cl^- : \qquad (3.1)$$

Էլեկտրական դաշտի առկայությամբ պղնձի դրական իոնները շարժվում են դեպի կաթոդ, իսկ քլորի բացասական իոնները՝ դեպի անոդ: Հասնելով կաթոդին՝ պղնձի յուրաքանչյուր իոն նրանից վերցնում է պակասող 2 էլեկտրոնը, չեզոքանում է և անջատվում նրա վրա՝

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu: \qquad (3.2)$$

Քլորի իոնները, հասնելով անոդին, նրան են տալիս մեկական ավելցուկային էլեկտրոն և զույգերով միանալով՝ կազմում են քլորի չեզոք մոլեկուլներ՝

$$2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2: \qquad (3.3)$$

Քլորն անոդի վրա անջատվում է պղպջակների տեսքով:

Էլեկտրոլիզի տեխնիկական կիրառությունները: Էլեկտրոլիզի երևույթն ունի մի շարք կարևոր տեխնիկական կիրառություններ:

Էլեկտրոլիզի օգնությամբ ստացվում է մաքուր (ռաֆինացված) պղինձ հետևյալ եղանակով: Հանքանյութից ստացված պղնձից, որը պարունակում է տարբեր խառնուկներ, ձուլվում են հաստ թիթեղներ: Այդ թիթեղներն իջեցվում են $CuSO_4$-ի լուծույթի մեջ որպես անոդ: Որոշակի պայմաններում կաթոդի վրա անջատվում է միայն մետաղական պղինձ, իսկ խառնուկներն անցնում են լուծույթի մեջ կամ նստում անոթի հատակին:

Հալույթի էլեկտրոլիզի միջոցով բոքսիտներից, որոնք պարունակում են ալյումինի օքսիդ (Al_2O_3), ստացվում է մետաղական ալյումին: Այս պրոցեսում օգտագործվող մեծ հոսանքների շնորհիվ անջատվող ջոուլյան ջերմության հաշվին նյութը պահվում է հալված վիճակում:

Էլեկտրոլիզի միջոցով մետաղե առարկաները կարելի է պատել այլ մետաղների շերտով (***գալվանոստեգիա***): Հատկապես կարևոր է դժվարությամբ օքսիդացող մետաղներով պատումը (նիկելապատում, քրոմապատում, արծաթապատում), ինչը մետաղե առարկաները պահպանում է քայքայումից:

Էլեկտրոլիզի միջոցով կարելի է պատրաստել նաև տարբեր առարկաների մետաղական պատճեններ (***գալվանոպլաստիկա***): Դրա համար առարկան նախապես պատում են հաղորդիչ նյութի (որպես կանոն՝ գրաֆիտի) բարակ շերտով և իջեցնում էլեկտրոլիտի լուծույթի մեջ՝ որպես կաթոդ, որտեղ և այն ծածկվում է անհրաժեշտ հաստությամբ շերտով: Այս մեթոդը լայնորեն կիրառվում է պոլիգրաֆիական արդյունաբերության մեջ՝ տպագրական մատրիցներ (տառամայր) պատրաստելու համար:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում էլեկտրոլիտներ:*
2. *Ո՞ր երևույթն են անվանում էլեկտրոլիտային դիսոցում:*
3. *Նկարագրե՛ք էլեկտրոլիտային դիսոցման մեխանիզմը:*
4. *Ո՞ր մասնիկների շարժումով է պայմանավորված էլեկտրական հոսանքը էլեկտրոլիտի լուծույթում:*
5. *Ինչպե՞ս են շարժվում իոնները էլեկտրոլիտի լուծույթում.*
   ա) էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում, բ) էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում:
6. *Ինչպե՞ս է կախված էլեկտրոլիտի լուծույթի դիմադրությունը ջերմաստիճանից:*
7. *Ո՞ր երևույթն են անվանում էլեկտրոլիզ: Բերե՛ք էլեկտրոլիզի կիրառման օրինակներ:*

Էլեկտրական դաշտի առկայությամբ պղնձի դրական իոնները շարժվում են դեպի կաթոդ, իսկ քլորի բացասական իոնները՝ դեպի անոդ: Հասնելով կաթոդին՝ պղնձի յուրաքանչյուր իոն նրանից վերցնում է պակասող 2 էլեկտրոնը, չեզոքանում է և անջատվում նրա վրա՝

$$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu: \qquad (3.2)$$

Քլորի իոնները, հասնելով անոդին, նրան են տալիս մեկական ավելցուկային էլեկտրոն և զույգերով միանալով՝ կազմում են քլորի չեզոք մոլեկուլներ՝

$$2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2: \qquad (3.3)$$

Քլորն անոդի վրա անջատվում է պղպջակների տեսքով:

Էլեկտրոլիզի տեխնիկական կիրառությունները: Էլեկտրոլիզի երևույթն ունի մի շարք կարևոր տեխնիկական կիրառություններ:

Էլեկտրոլիզի օգնությամբ ստացվում է մաքուր (ռաֆինացված) պղինձ հետևյալ եղանակով: Հանքանյութից ստացված պղնձից, որը պարունակում է տարբեր խառնուկներ, ձուլվում են հաստ թիթեղներ: Այդ թիթեղներն իջեցվում են $CuSO_4$-ի լուծույթի մեջ որպես անոդ: Որոշակի պայմաններում կաթոդի վրա անջատվում է միայն մետաղական պղինձ, իսկ խառնուկներն անցնում են լուծույթի մեջ կամ նստում անոթի հատակին:

Հալույթի էլեկտրոլիզի միջոցով բոքսիտներից, որոնք պարունակում են ալյումինի օքսիդ (Al_2O_3), ստացվում է մետաղական ալյումին: Այս պրոցեսում օգտագործվող մեծ հոսանքների շնորհիվ անջատվող ջոուլյան ջերմության հաշվին նյութը պահվում է հալված վիճակում:

Էլեկտրոլիզի միջոցով մետաղե առարկաները կարելի է պատել այլ մետաղների շերտով (***գալվանոստեգիա***): Հատկապես կարևոր է դժվարությամբ օքսիդացող մետաղներով պատումը (նիկելապատում, քրոմապատում, արծաթապատում), ինչը մետաղե առարկաները պահպանում է քայքայումից:

Էլեկտրոլիզի միջոցով կարելի է պատրաստել նաև տարբեր առարկաների մետաղական պատճեններ (***գալվանոպլաստիկա***): Դրա համար առարկան նախապես պատում են հաղորդիչ նյութի (որպես կանոն՝ գրաֆիտի) բարակ շերտով և իջեցնում էլեկտրոլիտի լուծույթի մեջ՝ որպես կաթոդ, որտեղ և այն ծածկվում է անհրաժեշտ հաստությամբ շերտով: Այս մեթոդը լայնորեն կիրառվում է պոլիգրաֆիական արդյունաբերության մեջ՝ տպագրական մատրիցներ (տառամայր) պատրաստելու համար:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում էլեկտրոլիտներ:*
2. *Ո՞ր երևույթն են անվանում էլեկտրոլիտային դիսոցում:*
3. *Նկարագրե՛ք էլեկտրոլիտային դիսոցման մեխանիզմը:*
4. *Ո՞ր մասնիկների շարժումով է պայմանավորված էլեկտրական հոսանքը էլեկտրոլիտի լուծույթում:*
5. *Ինչպե՞ս են շարժվում իոնները էլեկտրոլիտի լուծույթում.*

   ա) էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում, բ) էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում:
6. *Ինչպե՞ս է կախված էլեկտրոլիտի լուծույթի դիմադրությունը ջերմաստիճանից:*
7. *Ո՞ր երևույթն են անվանում էլեկտրոլիզ: Բերե՛ք էլեկտրոլիզի կիրառման օրինակներ:*

§ 37. Ֆարադեյի օրենքն էլեկտրոլիզի համար

Ինչի՞ց է կախված էլեկտրոլիզի ժամանակ էլեկտրոդների վրա անջատված նյութի զանգվածը: Այս հարցին առաջին անգամ փորձնականորեն պատասխանել է Ֆարադեյը: Ելնելով էլեկտրոլիտների լուծույթների էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմից՝ հարցին կարելի է պատասխանել նաև տեսականորեն:

Ակնհայտ է, որ Δt ժամանակամիջոցում էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի զանգվածը հավասար է այդ ընթացքում էլեկտրոդի վրա չեզոքացած բոլոր իոնների զանգվածների գումարին: Եթե տվյալ էլեկտրոդի վրա չեզոքանում է N_i իոն, որոնցից յուրաքանչյուրի զանգվածը m_{0i} է, ապա անջատված նյութի զանգվածը՝

$$m = m_{0i} N_i : \qquad (3.4)$$

Իոնի զանգվածը որոշվում է

$$m_{0i} = \frac{M}{N_A} \qquad (3.5)$$

բանաձևով, որտեղ M-ը նյութի մոլային զանգվածն է, N_A -ն՝ Ավոգադրոյի հաստատունը:

Էլեկտրոդին հասած իոնների թիվը՝

$$N_i = \frac{\Delta q}{q_{0i}}, \qquad (3.6)$$

որտեղ $\Delta q = I\Delta t$ -ն Δt ժամանակամիջոցում էլեկտրոլիտով անցած լիցքն է, իսկ q_{0i} -ն՝ իոնի լիցքը: Իոնի լիցքի մեծությունը կախված է տվյալ միացության մեջ նյութի ատոմի արժեքականությունից: Ընդհանուր դեպքում $q_{0i} = ne$, որտեղ n-ն ատոմի արժեքականությունն է, e-ն՝ տարրական լիցքը:

(3.5) և (3.6) արտահայտությունները տեղադրելով (3.4) հավասարման մեջ և հաշվի առնելով, որ $\Delta q = I\Delta t$ և $q_{0i} = ne$, կստանանք՝

$$\boxed{m = \frac{M}{neN_A}\Delta q = \frac{M}{neN_A} I\Delta t} : \qquad (3.7)$$

(3.7) բանաձևում m-ի և Δq-ի միջև

$$k = \frac{M}{neN_A} \qquad (3.8)$$

համեմատականության գործակիցը տվյալ նյութի համար հաստատուն մեծություն է:

Արդյունքում (3.7) բանաձևը կարող ենք ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

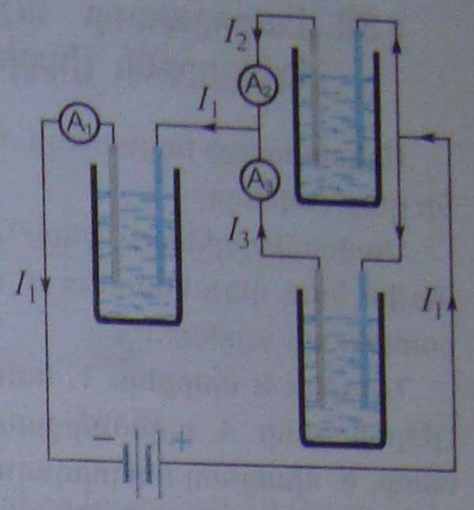
$$\boxed{m = k\Delta q = kI\Delta t} . \qquad (3.9)$$

որի համաձայն՝ ***էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի զանգվածն ուղիղ համեմատական է հոսանքի ուժի և ժամանակամիջոցի արտադրյալին (էլեկտրոլիտով անցած լիցքին)***:

Այս պնդումն առաջին անգամ փորձնականորեն սահմանել է Ֆարադեյը և կոչվում է Ֆարադեյի էլեկտրոլիզի օրենք: k համեմատականության գործակիցը կոչվում է նյութի ***էլեկտրաքիմիական համարժեք***: Այն արտահայտվում է 1 կգ/Կլ միավորով:

Տվյալ նյութի էլեկտրաքիմիական համարժեքը թվապես հավասար է նյութի այն զանգվածին, որն անջատվում է էլեկտրոդի վրա, երբ էլեկտրոլիտով անցնում է 1 Կլ լիցք:

Ֆարադեյի օրենքը կարելի է ստուգել փորձով նկ. 68-ում պատկերված սարքի օգնությամբ: Երեք էլեկտրոլիտային գուռեր լցված են միևնույն էլեկտրոլիտով: Գուռերով անցնող հոսանքի ուժերն են՝ I_1, I_2 և I_3: Փորձը ցույց է տալիս, որ 1-ին գուռում անջատված նյութի m_1 զանգվածը հավասար է 2-րդ և 3-րդ գուռերում անջատված նույն նյութի m_2 և m_3 զանգվածների գումարին՝ $m_1 = m_2 + m_3$: Այս հավասարությունից կհետևի $I_1 = I_2 + I_3$ ակնհայտ կապը, եթե անջատված զանգվածը լինի համեմատական գուռով անցնող հոսանքի ուժին՝ $m \sim I$, ինչը համարժեք է (3.9) բանաձևին:



Նկ. 68

Տարրական e լիցքի և Ավոգադրոյի N_A հաստատունի արտադրյալը նշանակում են F տառով և անվանում Ֆարադեյի հաստատուն՝

$$F = eN_A: \qquad (3.10)$$

Օգտվելով այս նշանակումից՝ (3.7) բանաձևը կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$m = \frac{M}{Fn} I\Delta t \; : \qquad (3.11)$$

Այս բանաձևից հետևում է, որ Ֆարադեյի հաստատունը թվապես հավասար է այն լիցքին, որը պետք է անցնի էլեկտրոլիտի լուծույթով, որպեսզի էլեկտրոդի վրա անջատվի նյութի քիմիական համարժեքին՝ M / n մեծությանը հավասար զանգվածով նյութ:

Փորձով չափելով էլեկտրոլիտով անցնող I հոսանքի ուժը, Δt ժամանակամիջոցում էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի m զանգվածը, (3.11) բանաձևից կարելի է որոշել Ֆարադեյի հաստատունը: Փորձը ցույց է տալիս, որ $F = 96500$ Կլ / մոլ: Գիտենալով վերջինիս արժեքը՝ կարելի է հաշվել տարրական լիցքի մեծությունը՝

$$e = \frac{F}{N_A} = \frac{96500}{6{,}02 \cdot 10^{23}} \text{ Կլ} \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Կլ} \; :$$

Հենց այս եղանակով 1874 թ., էլեկտրոնի հայտնագործումից 23 տարի առաջ, իռլանդացի ֆիզիկոս Ջ.Ստոնին որոշեց տարրական լիցքի մեծությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք Ֆարադեյի օրենքն էլեկտրոլիզի համար:*
2. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում էլեկտրաքիմիական համարժեք և ի՞նչ ֆիզիկական իմաստ ունի այն:*
3. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում նյութի էլեկտրաքիմիական համարժեքը միավորների ՄՀ-ում:*
4. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում Ֆարադեյի հաստատուն, ինչի՞ է այն հավասար:*
5. *Ի՞նչ եղանակով կարելի է որոշել տարրական լիցքի մեծությունը:*

§ 38. Լաբորատոր աշխատանք N 4. Էլեկտրոնի լիցքի որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Օգտագործելով էլեկտրոլիզի երևույթը՝ որոշել էլեկտրոնի լիցքի արժեքը:

Չափամիջոցներ. 1. կշեռք՝ 0,1 գ ճշտությամբ կշռաքարերով, 2. ժամացույց (էլեկտրոնային կամ վայրկենացույց՝ սլաքով), 3. ամպերմետր (0÷2 Ա սանդղակով և 0,1 Ա բաժանման արժեքով):

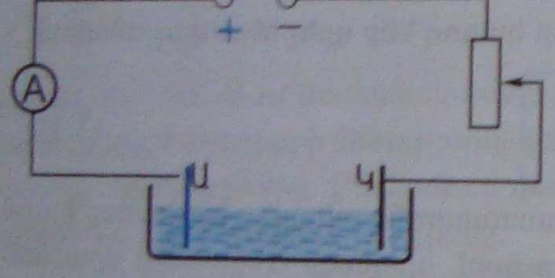
Նյութեր և սարքեր. 1. հաստատուն հոսանքի աղբյուր, 2. ռեոստատ, 3. պղնձե էլեկտրոդներ, 4. պղնձարջասպի ($CuSO_4$) 16%-անոց ջրային լուծույթ, 5. գլանաձև անոթ, 6. միացնող հաղորդալարեր, 7. անջատիչ, 8. էլեկտրասալիկ:

Փորձի կատարման ընթացքը

1. Խնամքով (0,1 գ ճշտությամբ) կշռել որպես կաթոդ ծառայող պղնձե էլեկտրոդը՝ որոշել նրա m_1 զանգվածը:

2. Հավաքել շղթա՝ հաջորդաբար միացնելով մարտկոցը, ամպերմետրը, ռեոստատը, անջատիչը, պղնձարջասպի լուծույթ պարունակող անոթը, որի մեջ ընկղմված են էլեկտրոդները:

3. Փակել բանալին՝ նշելով փորձը սկսելու ժամանակը:



4. Ռեոստատի միջոցով հոսանքի ուժը (մոտ 1÷2 Ա) պահելով հաստատուն՝ 15÷20 ր-ի ընթացքում կատարել լուծույթի էլեկտրոլիզ:

5. Անջատել հոսանքը, պղնձե կաթոդը հանել, լվանալ ջրով և չորացնել էլեկտրասալիկի վրա: Նորից խնամքով կշռել կաթոդային թիթեղը (որոշել m_2-ը):

6. Էլեկտրոնի լիցքի արժեքը որոշել

$$e = \frac{MIt}{mnN_A}, \quad m = m_2 - m_1$$

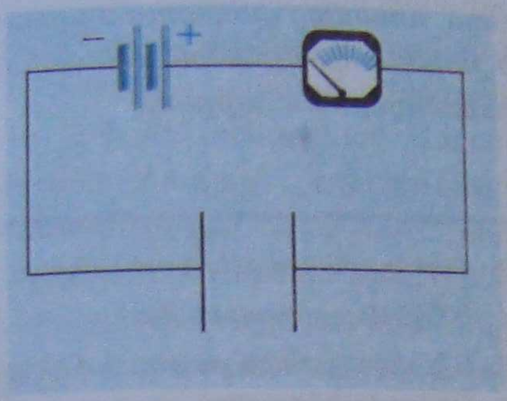
բանաձևով, որտեղ $M = 0{,}0635$ կգ/մոլ-ը պղնձի մոլային զանգվածն է, $n = 2$-ը՝ պղնձի արժեքականությունը, իսկ $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ մոլ$^{-1}$-ը՝ Ավոգադրոյի հաստատունը:

§ 39. Էլեկտրական հոսանքը գազերում

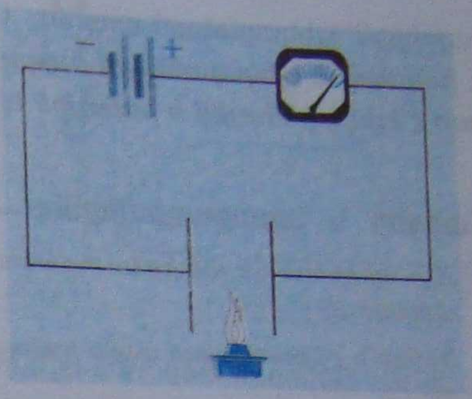
Եթե օդային հարթ կոնդենսատորը հաջորդաբար միացնենք հոսանքի աղբյուրին և գալվանոմետրին, ապա սենյակային ջերմաստիճանում, երբ օդի խոնավությունը մեծ չէ, գալվանոմետրը հոսանք ցույց չի տա (նկ. 69): Դա նշանակում է, որ սովորական պայմաններում օդը դիէլեկտրիկ է:

Եթե այժմ կոնդենսատորի թիթեղների միջև օդը տաքացնենք սպիրտայրոցի բոցով (նկ. 70), ապա կնկատենք, որ գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է, այսինքն՝ օդը դառնում է հաղորդիչ, և նրանով հոսանք է անցնում:

Գազի միջով էլեկտրական հոսանք անցնելու պրոցեսն անվանում են գազային պար-



Նկ. 69



Նկ. 70

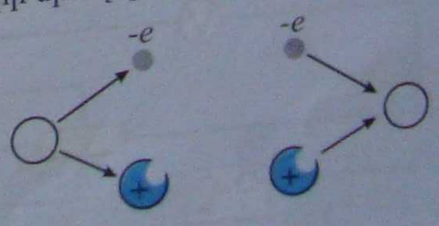
Գազի իոնացումը: Սովորական պայմաններում գազերը կազմված են չեզոք մոլեկուլներից կամ ատոմներից: Նրանցում ազատ լիցքակիրները բացակայում են, և այդ պատճառով նրանք դիէլեկտրիկներ են: Որպեսզի գազը դառնա հաղորդիչ, անհրաժեշտ է ինչ-որ եղանակով նրա մոլեկուլներից էլեկտրոններ պոկել, այսինքն՝ գազն իոնացնել: Գազի մոլեկուլները կարելի է իոնացնել էլեկտրոնային փնջերի, ուլտրամանուշակագույն, ռենտգենյան, ռադիոակտիվ և զանազան այլ ճառագայթումների միջոցով: Արտաքին գրգռիչները, որոնց ազդեցությամբ տեղի է ունենում գազի իոնացումը, կոչվում են ***իոնարարներ***: Վերևում նկարագրած փորձում որպես իոնարար հանդես է գալիս սպիրտայրոցի բոցը:

Գազը տաքացնելիս նրա մոլեկուլների ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան մեծանում է, և որոշ մոլեկուլներ սկսում են շարժվել այնքան արագ, որ բախվելիս տրոհվում են՝ վերածվելով դրականապես լիցքավորված իոնների և էլեկտրոնների (նկ. 71,ա):

Գազում իոնացման պրոցեսին զուգընթաց տեղի է ունենում նաև վերամիավորման պրոցես: Դրական իոններն ու էլեկտրոնները, հանդիպելով միմյանց, վերամիավորվում են՝ առաջացնելով չեզոք ատոմ կամ մոլեկուլ (նկ. 71,բ): Այսպիսով, մի կողմից՝ իոնարարն անընդհատ ստեղծում է ազատ էլեկտրոններ և իոններ, մյուս կողմից՝ դրանք վերամիավորվում են՝ առաջացնելով չեզոք ատոմներ կամ մոլեկուլներ: Եթե իոնարարի ազդեցությունն անփոփոխ է, ապա այդ երկու պրոցեսների միջև հաստատվում է շարժուն հավասարակշռություն, այսինքն՝ միավոր ժամանակում իոնացման արդյունքում ծնված մասնիկների թիվը հավասարվում է վերամիավորման հետևանքով չեզոքացող մասնիկների թվին: Դրանից հետո գազում ազատ լիցքակիրների կոնցենտրացիան չի փոխվում:

Նշենք, որ դրական իոնների հետ մեկտեղ գազում առկա են նաև բացասական իոններ, որոնք առաջանում են չեզոք ատոմների և էլեկտրոնների միավորման շնորհիվ:

Էլեկտրահաղորդականության բնույթը գազերում: Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայությամբ իոնարարի ազդեցությամբ առաջացած իոններն ու ազատ էլեկտրոնները գազում կատարում են քաոսային շարժում: Էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում ջերմային շարժման հետ մեկտեղ առաջանում է էլեկտրոնների և իոնների կարգավորված շար-



Նկ. 71

ժում, այսինքն՝ էլեկտրական հոսանք: Այսպիսով՝ ***հոսանքը գազերում պայմանավորված է իոնների և էլեկտրոնների ուղղորդված շարժմամբ, այսինքն՝ իոնացված գազն օժտված է էլեկտրոնային և իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

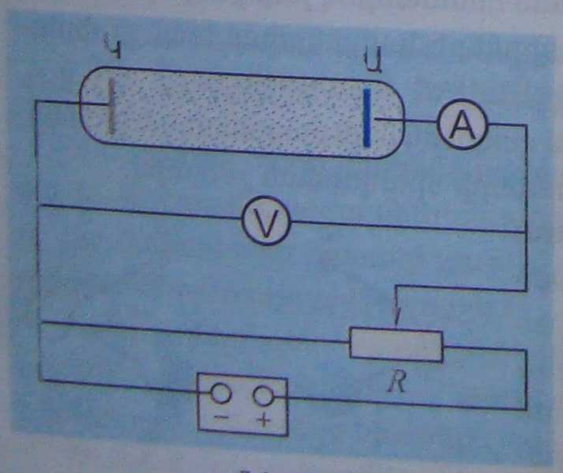
1. *Ո՞ր պրոցեսն են անվանում գազային պարպում:*
2. *Ինչպե՞ս է կատարվում գազի իոնացումը:*
3. *Բերե՛ք իոնարարների օրինակներ:*
4. *Ի՞նչ է վերամիավորումը:*
5. *Ո՞ր մասնիկների շարժումով է պայմանավորված հոսանքը գազերում:*

§ 40. Ոչ ինքնուրույն և ինքնուրույն պարպումներ

Ոչ ինքնուրույն պարպում: Գազային պարպման օրինաչափություններն ուսումնասիրելու համար դիտարկենք գազով լցված խողովակից, հոսանքի աղբյուրից և լայն սահմաններում փոփոխվող դիմադրությամբ ռեոստատից կազմված շղթա (նկ. 72): Խողովակի մեջ մտցված էլեկտրոդները միացված են հոսանքի աղբյուրի դրական և բացասական բևեռներին: Շղթայում միացված են նաև վոլտմետր և ամպերմետր, որոնց օգնությամբ չափվում են էլեկտրոդների միջև կիրառված լարման և գազով անցնող հոսանքի ուժի արժեքները: Փոքրացնելով R դիմադրությունը, կարելի է մեծացնել էլեկտրոդների միջև կիրառված լարումը:

Ենթադրենք, որ իոնարարի ազդեցությամբ գազում ծնվում են լիցքավորված մասնիկներ՝ իոններ և էլեկտրոններ: Էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ դրական իոնները շարժվում են դեպի բացասական էլեկտրոդ (կաթոդ), իսկ էլեկտրոնները՝ դեպի դրական էլեկտրոդ (անոդ): Գազում առաջանում է էլեկտրական հոսանք:

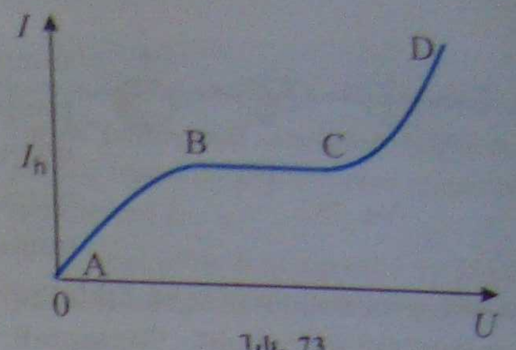
Պարզենք, թե հոսանքի ուժն ինչպես է կախված լարումից: Լարման փոքր արժեքների դեպքում էլեկտրոններն ու իոնները դաշտի ազդեցությամբ դանդաղ են շարժվում և մինչև էլեկտրոդներին հասնելը նրանց զգալի մասը հասցնում է վերամիավորվել: Այդ պատճառով առաջացած հոսանքի ուժը մեծ չէ: Լարման մեծացմանը զուգընթաց իոնների և էլեկտրոնների ուղղորդված շարժման արագությունը մեծանում է. նրանք ավելի շուտ են հասնում էլեկտրոդներին, հետևաբար՝ այդ ընթացքում նրանց վերամիավորման հավանականությունը փոքրանում է: Այդ պատճառով էլեկտրոդներին հասնում են ավելի մեծ քվով լիցքավորված մասնիկներ, և հոսանքի ուժն աճում է (նկ. 73-ի AB տեղամասը):



Նկ. 72

Երբ լարումը հասնում է այնպիսի արժեքի, որի դեպքում իոնարարի ազդեցությամբ միավոր ժամանակում առաջացած բոլոր լիցքավորված մասնիկներն այդ ժամանակի ընթացքում առանց վերամիավորվելու հասնում են

էլեկտրոններին, հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն արժեքը և լարման հետագա մեծացման դեպքում դադարում է աճել (նկ. 73-ի BC տեղամասը): Հոսանքի ուժի այդ առավելագույն $I_հ$ արժեքը կոչվում է ***հագեցման հոսանքի ուժ***: Եթե AC տեղամասում կիրառված լարման որևէ արժեքի դեպքում իոնարարի ազդեցությունը դադարեցվի, ապա կարճ ժամանակամիջոցում հոսանքի ուժը կհավասարվի զրոյի: Այդ ընթացքում գազում առկա բոլոր լիցքավորված մասնիկները կա՛մ կհասնեն էլեկտրոդներին, կա՛մ կվերամիավորվեն, և պարպումը կդադարի: Այդ պատճառով միայն արտաքին իոնարարի ազդեցությամբ տեղի ունեցող պարպումն անվանում են ***ոչ ինքնուրույն պարպում:***



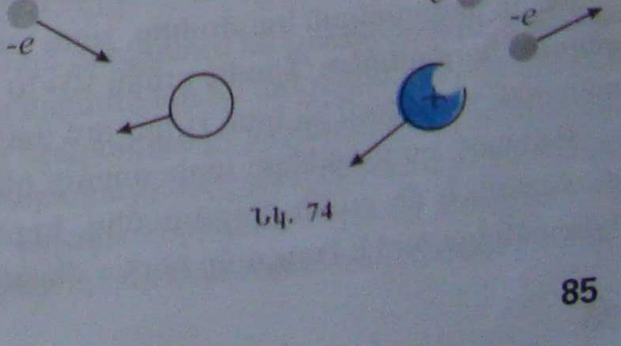
Նկ. 73

Ինքնուրույն պարպում: Այժմ տեսնենք, թե ինչ տեղի կունենա, եթե շարունակենք մեծացնել կիրառված լարումը: Փորձը ցույց է տալիս, որ, լարման որոշակի արժեքից սկսած, հոսանքի ուժը կտրուկ աճում է (նկ. 73-ի CD տեղամասը): Նշանակում է, գազում կտրուկ աճել է լիցքավորված մասնիկների թիվը. ի հայտ է եկել իոնների առաջացման մեկ այլ՝ ավելի արդյունավետ մեխանիզմ: Այժմ արդեն արտաքին իոնարարի կարիքը չի զգացվում: Եթե նրա գործողությունը դադարեցվի, ապա պարպումը կշարունակվի: Այդպիսի գազային պարպումն անվանում են ***ինքնուրույն պարպում***: Այն լարումը, որի դեպքում առաջանում է ինքնուրույն պարպում, կոչվում է ***ծակման լարում*** կամ գազային պարպման ***բռնկման լարում***:

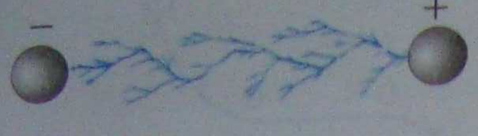
Պարզենք, թե ինչպես է ոչ ինքնուրույն պարպումը վերածվում ինքնուրույնի: Էլեկտրական դաշտում ուղղորդված շարժում կատարող յուրաքանչյուր էլեկտրոն անընդհատ բախվում է գազի չեզոք ատոմներին կամ իոններին: Երկու հաջորդական բախումների ընթացքում էլեկտրոնի անցած ճանապարհը կոչվում է ***ազատ վազքի երկարություն***: Ազատ վազքի l երկարության վրա էլեկտրոնը շարժվում է արագացմամբ և ձեռք է բերում որոշակի կինետիկ էներգիա: Այդ էներգիան հավասար է էլեկտրական դաշտի կողմից էլեկտրոնի վրա ազդող $F = eE$ ուժի կատարած աշխատանքին՝

$$\frac{mv^2}{2} = eEl : \qquad (3.12)$$

Եթե տվյալ էներգիան մեծ կամ հավասար է ատոմից էլեկտրոն պոկելու (ատոմն իոնացնելու) համար պահանջվող աշխատանքին, ապա բախման հետևանքով տեղի է ունենում չեզոք ատոմի իոնացում, ատոմը տրոհվում է դրական իոնի և էլեկտրոնի (նկ. 74), այսինքն՝ առաջանում է մեկ ազատ էլեկտրոն: Այդ երկու էլեկտրոնները, արագանալով էլեկտրական դաշտում, իոնացնում են երկու չեզոք ատոմ, և ազատ էլեկտրոնների թիվը դառնում է հավասար չորսի: Սրանք, իրենց հերթին, իոնացնում են չորս



Նկ. 74



Նկ. 75

ատոմ և այսպես շարունակ: Կարճ ժամանակում լիցքավորված մասնիկների թիվը կտրուկ աճում է: Առաջանում է էլեկտրոնային հեղեղ: Սակայն դա բավարար չէ գազում երկարատև ինքնուրույն պարպում ապահովելու համար: Իրոք, էլեկտրոնային հեղեղի ժամանակ առաջացած բոլոր էլեկտրոնները, հասնելով անոդին, այլևս չեն մասնակցում պարպման պրոցեսին: Պարպումը շարունակվելու համար անհրաժեշտ է, որ հեռացած էլեկտրոնների փոխարեն գազում անընդհատ նորերը հայտնվեն: Դա կատարվում է հետևյալ կերպ: Պարպման ժամանակ առաջացած դրական իոնները դեպի կաթոդ շարժվելու ճանապարհին ձեռք են բերում բավականաչափ մեծ կինետիկ էներգիա և, հարվածելով կաթոդին, նրանից պոկում են էլեկտրոններ: Կաթոդը կարող է էլեկտրոններ արձակել նաև մինչև բավականաչափ բարձր ջերմաստիճաններ տաքացնելիս:

Կայծակ: Գազի ինքնուրույն պարպման օրինակ է ***կայծային պարպումը***: Եթե օդում տեղադրված երկու էլեկտրոդների միջև կիրառված լարումն աստիճանաբար մեծացնենք, ապա լարման որոշակի արժեքի դեպքում նրանց միջև կառաջանա ***էլեկտրական կայծ*** (նկ. 75):

Այն ունի ծռմռված, ճյուղավորված տեսք և ուղեկցվում է վառ լուսարձակմամբ ու յուրահատուկ ձայնով: Կայծային պարպումն առաջանում է այն դեպքում, երբ գազում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը հասնում է որոշակի E_c կրիտիկական արժեքի: Լարվածության այդ արժեքը կոչվում է միջավայրի ծակման լարվածություն: Օդի համար նորմալ պայմաններում $E_c = 3 \cdot 10^6$ Վ/մ: Կայծային պարպման բնական օրինակ է կայծակը: Այն իրենից ներկայացնում է հսկայական էլեկտրական կայծ: Ամպրոպաբեր ամպն իր մեջ կրում է և՛ դրական, և՛ բացասական լիցքեր, որոնք տեղաբաշխվում են նրա տարբեր մասերում: Ավելի հաճախ բացասական լիցքը տեղաբաշխվում է ամպի՝ դեպի Երկիր շրջված մասում, իսկ դրական լիցքը՝ նրա հակադիր կողմում: Երբ երկու լիցքավորված ամպեր իրար մոտենում են տարանուն լիցքավորված կողմերով, նրանց միջև առաջանում է կայծային պարպում՝ կայծակ:

Կայծակ կարող է առաջանալ նաև ամպի և Երկրի միջև: Լիցքավորված ամպի ազդեցությամբ Երկրի մակերևույթին մակածվում են ամպի լիցքի հակառակ նշանի լիցքեր, և ամպի ու Երկրի մակերևույթի միջև առաջանում է լարում: Երբ լարման արժեքը դառնում է բավականաչափ մեծ, առաջանում է կայծակ:

Կայծակի հայտնվելուց անմիջապես առաջ լարումն ամպի և Երկրի միջև հասնում է $10^8 \div 10^9$ Վ-ի: Հոսանքի ուժը կայծակում փոփոխվում է $10^4 \div 5 \cdot 10^5$ Ա սահմաններում: Կայծակի առանձին պարպումների տևողությունը 10^{-6} վ-ի կարգի մեծություն է: Կայծակին ուղեկցող որոտը ձայնային հզոր ալիք է, որն առաջանում է օդի ուժեղ տաքացման պրոցեսում նրա արագ ընդարձակման հետևանքով:

Բացի սովորական կայծակից, շատ հազվադեպ դիտվում են նաև, այսպես կոչված, ***գնդաձև կայծակներ***: Դրանք ունեն 10÷20 սմ տրամագծով լուսատու գնդի տեսք և դանդաղորեն շարժվում են կամ էլ կպչում անշարժ առարկաների:

Գնդաձև կայծակները սովորաբար ծնվում են շատ ուժեղ կայծակների հարվածի ժամանակ և մի քանի վայրկյանից, երբեմն էլ՝ րոպեներից հետո անհետանում են: Գնդաձև կայծակի էությունը դեռևս վերջնականապես չի բացահայտված:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր պարպումներն են անվանում ոչ ինքնուրույն:*
2. *Ինչպե՞ս է կախված հոսանքի ուժը լարումից ոչ ինքնուրույն պարպման դեպքում:*
3. *Ի՞նչն են անվանում հագեցման հոսանք:*
4. *Ո՞ր պարպումներն են անվանում ինքնուրույն:*
5. *Ինչու՞ իոնարարի ազդեցությունը դադարելուց հետո ոչ ինքնուրույն պարպումը դադարում է:*
6. *Ի՞նչ լարումների դեպքում է ոչ ինքնուրույն պարպումը փոխակերպվում ինքնուրույնի:*

§ 41. Պլազմա

Նյութի ագրեգատային վիճակը կախված է ջերմաստիճանից և արտաքին ճնշումից: Շատ ցածր ջերմաստիճաններում գրեթե բոլոր նյութերը գտնվում են պինդ վիճակում: Ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց նյութն անցնում է հեղուկ վիճակի և ապա՝ փոխակերպվում գազի:

Ի՞նչ տեղի կունենա, եթե գազի ջերմաստիճանն աստիճանաբար մեծացնենք: Այդ դեպքում մեծ արագությամբ շարժվող ատոմների կամ մոլեկուլների բախումների շնորհիվ սկսվում է գազի իոնացումը՝ գազում ի հայտ են գալիս իոններ և էլեկտրոններ: Գազն անցնում է ագրեգատային նոր վիճակի: ***Մասամբ կամ լրիվ իոնացված գազը, որում դրական և բացասական լիցքերի կոնցենտրացիաները գործնականորեն համընկնում են, կոչվում է պլազմա:*** Այսպիսով՝ պլազման իոններից, էլեկտրոններից և չեզոք ատոմներից կազմված էլեկտրաչեզոք համակարգ է: Պլազմա կարելի է ստանալ ոչ միայն գազի տաքացման, այլև տարբեր իոնարարների (զանազան ճառագայթումների, լիցքավորված մասնիկների) ազդեցությամբ:

Պլազման բնութագրվում է իոնացման աստիճանով, որը լիցքավորված մասնիկների կոնցենտրացիայի հարաբերությունն է մասնիկների լրիվ կոնցենտրացիային: ***Թույլ իոնացված պլազմայում*** իոնացման աստիճանը 10^{-3}-ի կարգի մեծություն է, իսկ ***լրիվ իոնացված պլազմայում*** այն 1-ին մոտ թիվ է:

Պլազման օժտված է մի շարք յուրահատկություններով, որոնց շնորհիվ այն դիտվում է որպես նյութի առանձին ագրեգատային վիճակ: Պլազման, ի տարբերություն սովորական գազերի, օժտված է մեծ ջերմահաղորդականությամբ և էլեկտրահաղորդականությամբ: Ի տարբերություն մետաղների՝ ջերմաստիճանը բարձրացնելիս պլազմայի դիմադրությունը փոքրանում է: Շատ բարձր ջերմաստիճաններում պլազմայի դիմադրությունը գրեթե հավասարվում է զրոյի. այն իրեն դրսևորում է որպես գերհաղորդիչ: Եթե երկրագնդի վրա պլազման նյութի համեմատաբար հազվադեպ հանդիպող վիճակ է և ստացվում է հիմնականում արհեստական ճանապարհով, ապա Տիեզերքում պլազմային վիճակում է գտնվում նյութի 99%-ը:

$10^3 \div 10^4$ Կ ջերմաստիճան ունեցող պլազման անվանում են ***ցածրջերմաստիճանային*** կամ ***սառը*** պլազմա: Այդպիսի պլազմայի օրինակներ են գազային պարպման ժամանակ առաջացած իոնացած գազը, բոցը, երկրագունդը շրջապատող իոնոլորտը, աստղերի և գալակտիկաների միջև գտնվող տարածությունը լցնող միջաստղային նյութը և այլն: Գոյություն ունեն հատուկ սարքեր՝ պլազմատրոններ: Դրանք ստեղծում են ցածրջերմաստիճանային պլազմայի խիտ շիթեր, որոնք կիրառվում են մետաղներ կտրե-

լու և եռակցելու, պինդ ապարներում հորատանցքեր բացելու, արագացուցիչների հատակները լիցքավորված մասնիկների հոսքեր ստանալու նպատակով:

10^5 Կ-ից բարձր ջերմաստիճան ունեցող պլազման անվանում են ***բարձրջերմաստիճանային*** կամ ***տաք*** պլազմա: Այդպիսի պլազմա գոյություն ունի Արեգակի և այլ աստղերի բներքում, որտեղ ընթացող ջերմամիջուկային ռեակցիաների հետևանքով անջատվում է հսկայական էներգիա: Այդպիսի ռեակցիաներն ընթանում են միայն շատ բարձր (տասնյակ միլիոնավոր կելվին) ջերմաստիճաններում:

Նման ջերմաստիճան ունեցող կայուն պլազմայի ստեղծումը թույլ կտա իրականացնել կառավարվող ջերմամիջուկային ռեակցիաներ և ստանալ էներգիայի գործնականում անսպառ աղբյուր: Ներկայումս ինտենսիվ հետազոտություններ են կատարվում այդ ուղղությամբ:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. $S = 5 \cdot 10^{-3}$ մ^2 մակերեսով մետաղե դետալն արծաթապատվում է էլեկտրոլիտային գոտում, որով անցնող հոսանքի ուժը՝ $I = 1{,}93$ Ա: Ի՞նչ հաստության շերտ կնստի դետալի վրա $t = 2100$ վ-ի ընթացքում, եթե արծաթի խտությունը՝ $\rho = 10500$ կգ/մ^3, իսկ էլեկտրաքիմիական համարժեքը՝ $k = 1{,}12 \cdot 10^{-6}$ կգ/Կլ:

Լուծում: Համաձայն Ֆարադեյի օրենքի՝ էլեկտրոլիզի ժամանակ դետալի վրա նստած արծաթի զանգվածը՝ $m = kIt$: Քանի որ արծաթի ծավալը՝ $V = Sh$, որտեղ h-ն արծաթի շերտի հաստությունն է, ապա՝ $m = \rho V = \rho Sh$: Տեղադրելով այս արտահայտությունը Ֆարադեյի օրենքի հավասարման մեջ, կստանանք՝ $\rho Sh = kIt$, որտեղից՝

$$h = \frac{kIt}{\rho S};$$

Տեղադրելով տրված թվային արժեքները, կստանանք՝ $h = 8{,}6 \cdot 10^{-5}$ մ:

2. Էլեկտրական դաշտի լարվածության ի՞նչ արժեքի դեպքում կսկսվի օդի ինքնուրույն պարպումը, եթե նրա մոլեկուլների իոնացման համար անհրաժեշտ էներգիան՝ $W_i = 2{,}4 \cdot 10^{-18}$ Ջ, իսկ էլեկտրոնի ազատ վազքի երկարությունը՝ $l = 5 \cdot 10^{-6}$ մ: Ինչի՞ է հավասար էլեկտրոնի արագությունը մոլեկուլին հարվածելու պահին: Էլեկտրոնի լիցքի մոդուլը՝ $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Կլ, զանգվածը՝ $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ կգ:

Լուծում: Ինքնուրույն պարպում կսկսվի այն դեպքում, երբ էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ էլեկտրոնի ձեռք բերած կինետիկ էներգիան մինչև բախվելը դառնա հավասար մոլեկուլի իոնացման համար անհրաժեշտ էներգիային: Էլեկտրոնի ձեռք բերած կինետիկ էներգիան հավասար է ազատ վազքի երկարության վրա էլեկտրական դաշտի կատարած $A = eEl$ աշխատանքին, հետևաբար՝ $W_i = eEl$, որտեղից էլեկտրական դաշտի լարվածության համար ստանում ենք՝

$$E = \frac{W_i}{el} = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{Վ}}{\text{մ}};$$

Մոլեկուլին հարվածելու պահին էլեկտրոնի արագությունը որոշվում է $m_e v^2/2 = W_i$ հավասարումից՝

$$v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}} = 2{,}3 \cdot 10^6 \frac{\text{մ}}{\text{վ}};$$

Խնդիրներ

1. *Սենյակային ջերմաստիճանում հաղորդականության էլեկտրոնների կոնցենտրացիան գերմանիումում հավասար է $3 \cdot 10^{19}$ մ$^{-3}$-ի: Ատոմների ընդհանուր թվի ո՞ր մասն է կազմում հաղորդականության էլեկտրոնների թիվը: Գերմանիումի խտությունը 5400 կգ/մ^3 է, մոլային զանգվածը՝ 0,073 կգ/մոլ:*

2. *Ֆոտոռեզիստորը, որը մթության մեջ ունի $25 \cdot 10^3$ Օմ դիմադրություն, հաջորդաբար միացրեցին $5 \cdot 10^3$ Օմ դիմադրությանը: Երբ ֆոտոռեզիստորը լուսավորեցին, նույն լարման դեպքում հոսանքի ուժը շղթայում մեծացավ 4 անգամ: Քանի՞ անգամ փոքրացավ ֆոտոռեզիստորի դիմադրությունը:*

3. *Ինչի՞ է հավասար նատրիումի էլեկտրաքիմիական համարժեքը, եթե նրա արժեքականությունը 1 է, իսկ մեկ իոնի զանգվածը՝ $3{,}8 \cdot 10^{-26}$ կգ:*

4. *Որոշել, թե ինչ զանգվածով ջրածին անջատվեց, երբ աղաթթվի ջրային լուծույթի միջով անցավ 10^{20} էլեկտրոնի լիցք:*

5. *Որքա՞ն էլեկտրաէներգիա է անհրաժեշտ ծախսել 1 կգ ալյումին ստանալու համար, եթե էլեկտրոլիզը տեղի է ունենում $U = 10$ Վ լարման տակ, իսկ սարքի ՕԳԳ-ն կազմում է 80%: Ալյումինի մոլային զանգվածը 0,027 կգ/մոլ է, իսկ արժեքականությունը՝ 3:*

6. *250 մ^3 ծավալով օդապարիկը պետք է լցվի 27°C ջերմաստիճան և $2 \cdot 10^5$ Պա ճնշում ունեցող ջրածնով: Ի՞նչ քանակությամբ լիցք պետք է անցնի էլեկտրոլիտային գուռով՝ ծծմբաթթվի թույլ լուծույթի էլեկտրոլիզի ժամանակ ջրածնի անհրաժեշտ քանակություն ստանալու համար:*

7. *Հարթ կոնդենսատորը միացրին 6000 Վ լարում ունեցող աղբյուրին: Թիթեղների միջև ի՞նչ հեռավորության դեպքում կոնդենսատորը կպարպվի, եթե օդի իոնացումը սկսվում է $3 \cdot 10^6$ Վ/մ լարվածության դեպքում:*

ԳԼՈՒԽ 3-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Մետաղներում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված է ազատ (հաղորդականության) էլեկտրոններով:

2. Կիսահաղորդիչներն այն նյութերն են, որոնք իրենց տեսակարար դիմադրությամբ միջանկյալ դիրք են գրավում մեկուսիչների և հաղորդիչների միջև: Տաքացնելիս կամ լուսավորելիս կիսահաղորդչի հաղորդականությունն աճում է: Կիսահաղորդիչներում առկա է երկու տիպի հաղորդականություն՝ էլեկտրոնային և խոռոչային: Քանի ռարժեք կիսահաղորդչին հնգարժեք (դոնորային) կամ եռարժեք (ակցեպտորային) նյութեր խառնելով՝ կարելի է մեծացնել էլեկտրոնների կամ խոռոչների թիվը: Երկու դեպքում էլ կիսահաղորդչի հաղորդականությունն էապես աճում է: Կիսահաղորդչային սարքերը (կիսահաղորդչային դիոդ, տրանզիստոր) լայն կիրառություն ունեն ժամանակակից տեխնիկայում:

3. Էլեկտրոլիտների ջրային լուծույթների էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է դրական և բացասական իոններով: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս էլեկտրոլիտի դիմադրությունը փոքրանում է: Էլեկտրոլիտով հոսանքի անցումն ուղեկցվում է էլեկտրոդների վրա նյութի անջատումով: Այդ երևույթը կոչվում է

էլեկտրոլիզ: Էլեկտրոդի վրա անջատված նյութի զանգվածն ուղիղ համեմատական է էլեկտրոլիտով անցնող հոսանքի ուժի և ժամանակամիջոցի արտադրյալին՝ $m = kI\Delta t$ (Ֆարադեյի օրենք էլեկտրոլիզի համար):

4. Գազերը սովորական պայմաններում բաղկացած են չեզոք ատոմներից կամ մոլեկուլներից և դիէլեկտրիկներ են: Ջերմային, ինչպես նաև այլ բնույթի իոնարարների ազդեցությամբ գազն իոնանում է և դառնում հաղորդիչ: Գազի միջով էլեկտրական հոսանք անցնելու պրոցեսն անվանում են գազային պարպում: Գազերում էլեկտրական հոսանքը հիմնականում պայմանավորված է դրական և բացասական իոններով և էլեկտրոններով: Տարբերում են երկու տիպի պարպումներ՝ ոչ ինքնուրույն և ինքնուրույն: Միայն մշտապես գործող իոնարարի ազդեցությամբ տեղի ունեցող պարպումը կոչվում է ոչ ինքնուրույն: Առանց իոնարարի ազդեցության տեղի ունեցող պարպումը կոչվում է ինքնուրույն:

5. Պլազման դրական և բացասական լիցքերից և չեզոք մասնիկներից կազմված էլեկտրաչեզոք համակարգ է:

4 ՄԱԳՆԻՍ

§ 42. Մագնիսա

Պարզագույն էլեկ
դեռ շատ վաղ ժաման
իրարից անկախ: Պ
վանելու գաղտնիքը.
բե՞ ոչ:

Էլեկտրական և մ
բեն հայտնաբերել է
սական սլաքի վերևո
հոսանք էր բաց թո
իր սկզբնական դիր
հաղորդչին ուղղ
(նկ. 76): Հոսանքն ա
վերադառնում էր սլ

Իր բնույթով ա
էլեկտրամագնիսա
գայման գործում հ
ունեցող այս փորձ
քակիր հաղորդչի
մեջ գործում են ու
են բնական մագնի
կան սլաքի վրա ա
բով՝ կույտ տրվեց,
ուն մագնիսական
այն որոշ իմաստո
մագնիսին:

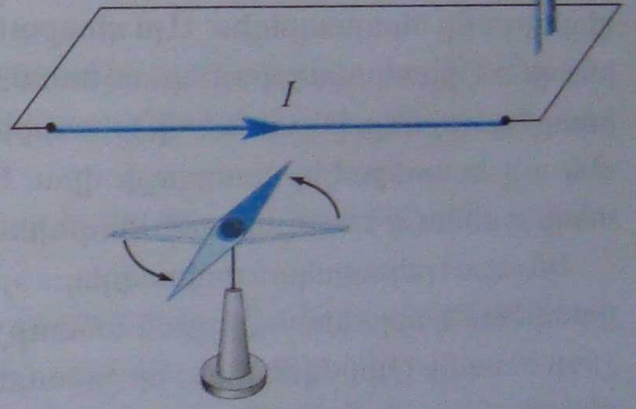
Այս պնդումն իր
ստացավ Ամպերի
բով ամրացված եր
բով (նկ. 77,ա) հո
պերը նկատեց, որ
ներն ունեն նույն ու

4 ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

§ 42. Մագնիսական փոխազդեցություն

Պարզագույն էլեկտրական և մագնիսական երևույթները մարդկությանը հայտնի են դեռ շատ վաղ ժամանակներից, սակայն մինչև 19-րդ դարի սկիզբը դրանք դիտվում էին իրարից անկախ: Պարզ չէր, թե ինչն է բնական մագնիսների՝ միմյանց ձգելու կամ վանելու գաղտնիքը. արդյոք նյութի մագնիսականությունն ունի՞ էլեկտրական բնույթ, թե՞ ոչ:

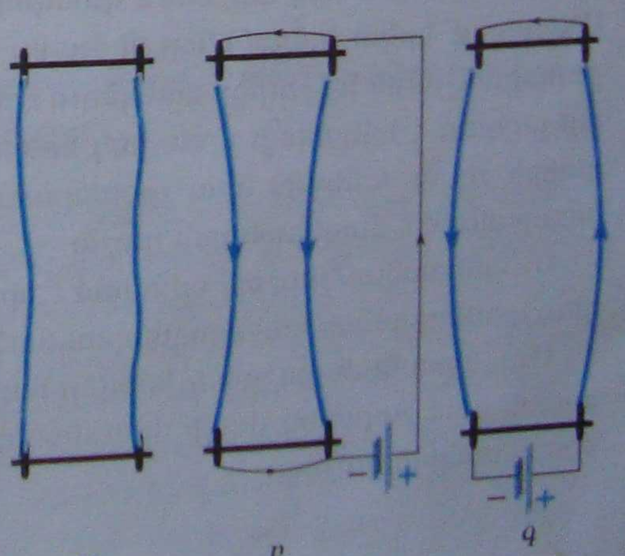
Էլեկտրական և մագնիսական երևույթների կապն առաջին անգամ փորձնականորեն հայտնաբերել է դանիացի ֆիզիկոս Հ. Էրստեդը 1820 թվականին: Երբ նա մագնիսական սլաքի վերևում վերջինիս զուգահեռ տեղադրված հաղորդալարով էլեկտրական հոսանք էր բաց թողնում, սլաքը շեղվում էր իր սկզբնական դիրքից և դասավորվում էր հաղորդչին ուղղահայաց ուղղությամբ (նկ. 76): Հոսանքն անջատելիս սլաքը նորից վերադառնում էր սկզբնական դիրքին:



Նկ. 76

Իր բնույթով անչափ պարզ, սակայն էլեկտրամագնիսական տեսության զարգացման գործում հիմնարար նշանակություն ունեցող այս փորձը ցույց տվեց, որ հոսանքակիր հաղորդչի շրջակա տարածության մեջ գործում են ուժեր, որոնք բնույթով նման են բնական մագնիսների կողմից մագնիսական սլաքի վրա ազդող ուժերին: Այլ խոսքով՝ ցույց տրվեց, որ էլեկտրական հոսանքն ունի մագնիսական ազդեցություն, այսինքն՝ այն որոշ իմաստով համարժեք է բնական մագնիսին:

Այս պնդումն իր հետագա հիմնավորումն ստացավ Ամպերի փորձերով: Ուղղածիգ դիրքով ամրացված երկու ճկուն հաղորդալարերով (նկ. 77,ա) հոսանք բաց թողնելիս Ամպերը նկատեց, որ երբ նրանցում հոսանքներն ունեն նույն ուղղությունը, հաղորդիչներն



Նկ. 77

Էրստեդ Հանս Քրիստիան (1777–1851)

Դանիացի ֆիզիկոս. աշխատանքները նվիրված են էլեկտրականությանը, ձայնագիտությանը և մոլեկուլային ֆիզիկային: 1820 թ. հայտնաբերել է էլեկտրական հոսանքի ազդեցությունը մագնիսական սլաքի վրա, ինչը բերել էլեկտրամագնիսականության տեսության ստեղծմանը: Առաջիններից մեկն է հայտնել այն միտքը, որ լույսն էլեկտրամագնիսական երևույթ է:

իրար ձգում են (նկ. 77,բ), իսկ երբ հոսանքները հակառակ են ուղղված՝ իրար վանում են (նկ. 77,գ): Քանի որ էլեկտրական հոսանքը լիցքերի ուղղորդված շարժում է, ապա բնական է ենթադրել, որ այդ փոխազդեցությունն առաջանում է շարժվող լիցքերի միջև: Երբ լիցքերը շարժվում են, նրանց միջև, բացի էլեկտրական փոխազդեցությունից, ի հայտ է գալիս նաև այլ տիպի փոխազդեցություն:

Էլեկտրական լիցքերի այն փոխազդեցությունը, որը ծագում է նրանց շարժման ժամանակ, ի տարբերություն էլեկտրական փոխազդեցության, կոչվում է ***մագնիսական փոխազդեցություն:*** Հոսանքակիր հաղորդիչների, ինչպես նաև բնական մագնիսների փոխազդեցությունը մագնիսական փոխազդեցության դրսևորման ձևեր են:

Մագնիսական դաշտ: Հոսանքների մագնիսական փոխազդեցությունը մեկնաբանելիս մենք նույն դժվարության ենք հանդիպում, ինչ որ լիցքերի էլեկտրական փոխազդեցությունը նկարագրելիս: Այս դեպքում նույնպես առաջանում են հետևյալ հարցերը՝ ինչպե՞ս է իրականացվում երկու հոսանքների (շարժվող լիցքերի) մագնիսական փոխազդեցությունը, ինչպե՞ս է մի հոսանքակիր հաղորդիչը հեռավորության վրա ազդում մեկ այլ հոսանքակիր հաղորդչի վրա, հոսանքակիր հաղորդչի շրջակա տարածքում տեղի ունենու՞մ է արդյոք որևէ փոփոխություն:

Ինչպես էլեկտրական փոխազդեցությունը, մագնիսական փոխազդեցությունը ևս բացատրվում է մերձազդեցության տեսությամբ: Համաձայն այդ տեսության՝ յուրաքանչյուր հոսանք (շարժվող լիցք) իր շրջակա տարածությունն օժտում է յուրահատուկ ֆիզիկական հատկություններով, այլ խոսքով՝ իր շուրջը ստեղծում է ***մագնիսական դաշտ***, որն էլ ազդում է այդ դաշտում գտնվող յանկացած հոսանքի (շարժվող լիցքի) վրա: Այսպիսով՝ երկու հոսանքներ միմյանց վրա անմիջականորեն չեն ազդում: Նրանցից յուրաքանչյուրն իր շուրջը ստեղծում է մագնիսական դաշտ, և առաջին հոսանքի դաշտը ազդում է երկրորդի վրա, իսկ երկրորդի դաշտը՝ առաջինի վրա: Յանկացած հոսանքի շուրջ, անկախ նրա շրջապատում մեկ այլ հոսանքի առկայությունից, միշտ առաջանում է մագնիսական դաշտ:

Մագնիսական դաշտն օժտված է մի շարք ֆիզիկական հատկություններով, որոնց դուք կծանոթանաք հաջորդ պարագրաֆներում:

Մագնիսական դաշտի գլխավոր հատկությունը դաշտում գտնվող յանկացած հոսանքի կամ շարժվող լիցքի վրա ազդելն է: Այդ ազդեցությամբ էլ հայտնաբերվում է մագնիսական դաշտը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Նկարագրե՛ք փորձ, որը ցույց կտա էլեկտրական և մագնիսական երևույթների կապը:*
2. *Ո՞ր փոխազդեցություններն են անվանում մագնիսական:*
3. *Ինչպե՞ս են փոխազդում երկու զուգահեռ հոսանքակիր հաղորդիչները, եթե նրանցում էլեկտրական հոսանքներն ունեն՝ ա) միևնույն ուղղությունը, բ) հակառակ ուղղություններ:*
4. *Ինչպե՞ս է իրականացվում երկու հոսանքակիր հաղորդիչների մագնիսական փոխազդեցությունը:*
5. *Ինչպե՞ս կարելի է հայտնաբերել մագնիսական դաշտը:*

§ 43. Լաբորատոր աշխատանք N5. Հոսանքի վրա մագնիսական դաշտի ազդեցության դիտումը

Աշխատանքի նպատակը. Դիտել հոսանքակիր շրջանակի վրա մագնիսական դաշտի կողմնորոշիչ ազդեցությունը:

Նյութեր և սարքեր. 1. հոսանքի աղբյուր, 2. ռեոստատ, 3. պայտաձև մագնիս, 4. մետաղալարից պատրաստված շրջանակ, 5. անջատիչ, 6. միացնող հաղորդալարեր, 7. ամրակալան:

Փորձի կատարման ընթացքը

1. Մետաղալարի շրջանակը կախել ամրակալանից և անջատիչի ու ռեոստատի միջոցով (ռեոստատի սողնակը պետք է դրված լինի առավելագույն դիմադրության վրա) միացնել հոսանքի աղբյուրին:

2. Շրջանակին մոտեցնել պայտաձև մագնիսը և, փակելով շղթան, հետևել շրջանակի շարժմանը:

3. Ընտրել շրջանակի և մագնիսի մի քանի փոխադարձ դիրք և, նախապես կանխորոշելով շրջանակի շարժման ուղղությունը, ստուգել այն փորձով:

4. Շրջանակը կախել պայտաձև մագնիսի բևեռների միջև և, փակելով շղթան, դիտել շրջանակի շարժման բնույթն ու ուղղությունը:

§ 44. Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտոր

Տարբեր հոսանքներ իրենց շուրջը ստեղծում են տարբեր մագնիսական դաշտեր, այսինքն՝ միևնույն հոսանքակիր հաղորդչի վրա նրանք ազդում են տարբեր ուժերով: Նույն հոսանքի ստեղծած դաշտը տարածության տարբեր կետերում ևս կարող է տարբեր լինել: Հոսանքակիր հաղորդչի (շարժվող լիցքի) վրա մագնիսական դաշտի ուժային ազդեցությունը քանակապես բնութագրելու համար ներմուծվում է մի վեկտորական մեծություն, որը կոչվում է ***մագնիսական ինդուկցիայի վեկտոր:*** Այն մագնիսական դաշտի ուժային բնութագիրն է և թույլ է տալիս որոշել դաշտի կամայական տիրույթում տեղադրված ցանկացած հոսանքակիր հաղորդչի (շարժվող լիցքի) վրա դաշտի կողմից ազդող ուժի մեծությունն ու ուղղությունը:

Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը: Փորձը ցույց է տալիս, որ մագնիսական դաշտի կողմից հոսանքակիր հաղորդչի բավականաչափ փոքր երկարությամբ տեղամասի վրա ազդող ուժը կախված է այդ տեղամասի Δl երկարությունից, նրանում հոսանքի ուժից և տարածության մեջ նրա կողմնորոշումից: Հաղորդչի այդ տեղամասը պահելով տարածության միևնույն տեղում և անընդհատ փոխելով նրա ուղղությունը՝ կարելի է գտնել այն դիրքը, որտեղ նրա վրա ազդող ուժի մոդուլն ունի առավելագույն արժեքը F_m: Փոփոխելով I հոսանքի ուժը և տեղամասի Δl երկարությունն ու ամեն անգամ չափելով F_m առավելագույն արժեքը, կարելի է համոզվել, որ $F_m/(I\Delta l)$ հարաբերությունը մնում է հաստատուն: Այդ հարաբերությունը կախված չէ ո՛չ հաղորդչով անցնող հոսանքի ուժից և ո՛չ էլ հաղորդչի տեղամասի երկարությունից, հետևաբար՝ այն կարող է ծառայել որպես մագնիսական դաշտի ուժային բնութագիր դաշտի այն տիրույթի համար, որտեղ գտնվում է հաղորդչի նշված տեղամասը: Եթե Δl երկարությունը բավականաչափ փոքր է, ապա այդ հարաբերությունը կբնութագրի դաշտը տվյալ կետում:

Այն մեծությունը, որը մագնիսական դաշտի տվյալ կետում հավասար է այդ կետում տեղադրված հոսանքակիր հաղորդչի բավականաչափ փոքր տեղամասի վրա ազդող առավելագույն ուժի հարաբերությանը հոսանքի ուժի և այդ տեղամասի երկարության արտադրյալին, կոչվում է մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլ.

$$B = \frac{F_m}{I\Delta l}: \qquad (4.1)$$

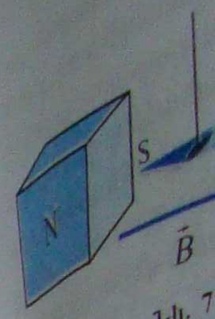
Մագնիսական ինդուկցիայի միավորը: (4.1) բանաձևը հնարավորություն է տալիս սահմանելու մագնիսական ինդուկցիայի միավորը: Քանի որ միավորների ՄՀ-ում ուժի միավորը՝ $[F_m] = 1$Ն, հոսանքի ուժի միավորը՝ $[I] = 1$Ա, իսկ երկարության միավորը՝ $[\Delta l] = 1$մ, ապա մագնիսական ինդուկցիայի միավորը՝

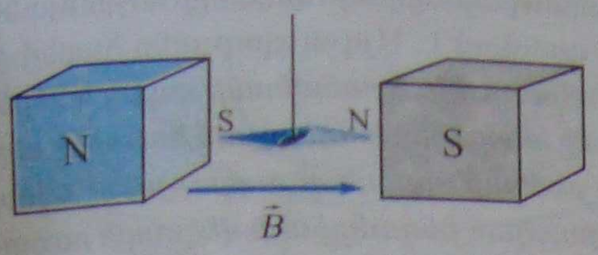
$$[B] = \frac{[F_m]}{[I][\Delta l]} = 1\,\frac{\text{Ն}}{\text{Ա}\cdot\text{մ}}: \qquad (4.2)$$

Այդ միավորը, ի պատիվ սերբ գիտնական-էլեկտրատեխնիկ Ն.Տեսլայի, անվանում են տեսլա (1 Տլ): ***Մեկ տեսլան այն համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է, որում տեղադրված 1 մ երկարությամբ ուղիղ հաղորդչի վրա դաշտն ազդում է 1 Ն առավելագույն ուժով, երբ նրանով անցնող հոսանքի ուժը 1 Ա է:***

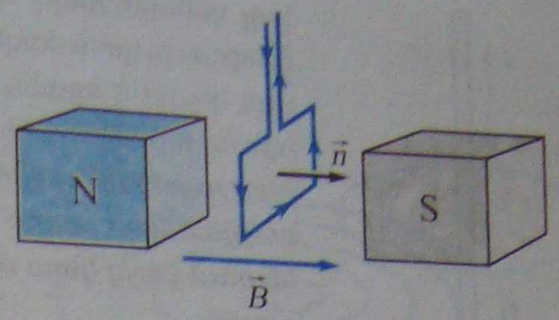
Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը: (4.1) բանաձևով կարելի է որոշել միայն մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը: Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը կարելի է սահմանել՝ օգտվելով այն հանգամանքից, որ մագնիսական դաշտը հոսանքակիր շրջանակի (փոքր չափեր ունեցող հոսանքակիր փակ կոնտուր), ինչպես նաև մագնիսական սլաքի վրա ունենում է կողմնորոշիչ ազդեցություն:

Հիշենք, որ մագնիսական սլաքը փոքրիկ, երկարավուն հաստատուն մագնիս է, որի ծայրերը հարավային՝ S և հյուսիսային՝ N բևեռներն են: Մագնիսական դաշտ մտցնելիս այն պտտվում և դասավորվում է խիստ որոշակի ուղղությամբ: Դաշտի տվյալ կետում այդ ուղղությունը կարելի է ընդունել որպես մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղություն: ***Դաշտի տվյալ կետում որպես մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի***





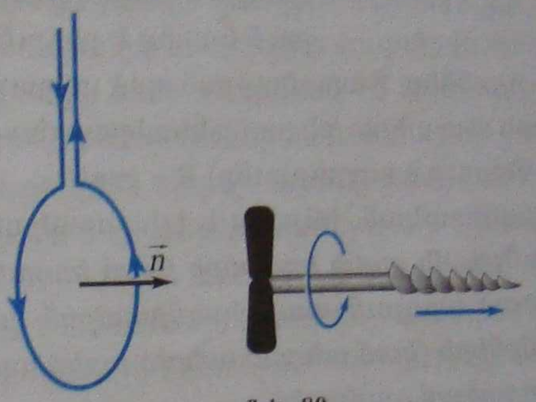
Նկ. 78



Նկ. 79

ուղություն ընդունվում է այդ կետում ազատորեն տեղակայված մագնիսական սլաքի S հարավային բևեռից դեպի N հյուսիսային բևեռը տանող ուղությունը (նկ. 78):

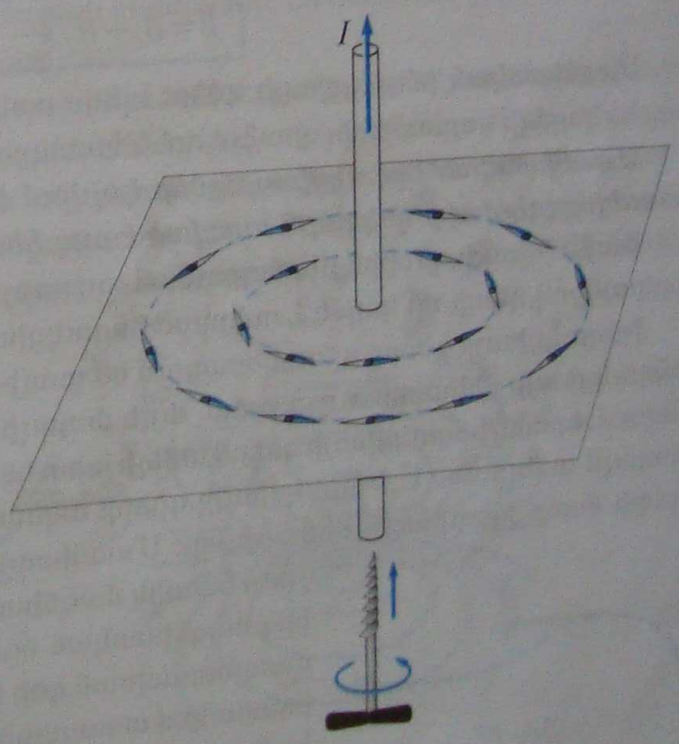
Մագնիսական սլաքի փոխարեն դաշտում հոսանքակիր շրջանակ տեղադրելիս, վերջինս դասավորվում է այնպես, որ նրա նորմալը (շրջանակի հարթությանը տարված ուղղահայացը) համընկնում է մագնիսական սլաքի կայուն տված ուղղության հետ (նկ. 79): Շրջանակի մակերևույթի նորմալի ուղղությունը որոշվում է, այսպես կոչված, խցանահանի կանոնով. ***այն ունի խցանահանի սայրի համընթաց շարժման ուղությունը, եթե խցանահանի բռնակի պտտման ուղությունը համընկնում է շրջանակում հոսանքի ուղղության հետ*** (նկ. 80): Այսպիսով՝ մագնիսական ինդուկցիայի ուղությունը կարելի է որոշել նաև հոսանքակիր շրջանակի օգնությամբ: Դրա համար պետք է դաշտի տվյալ կետում տեղադրել հոսանքակիր շրջանակ, նրան տալ ազատորեն պտտվելու հնարավորություն և հավասարակշռության դիրքում խցանահանի կանոնով որոշել շրջանակի նորմալի ուղությունը:



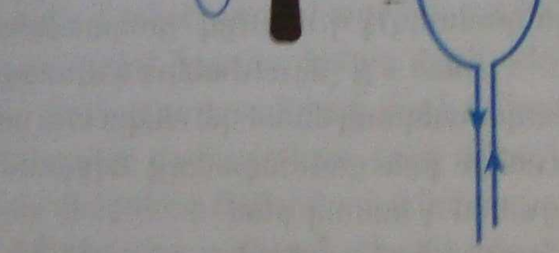
Նկ. 80

Դաշտի տվյալ կետում որպես մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղություն ընդունվում է այդ կետում ազատորեն տեղակայված հոսանքակիր շրջանակի նորմալի ուղությունը:

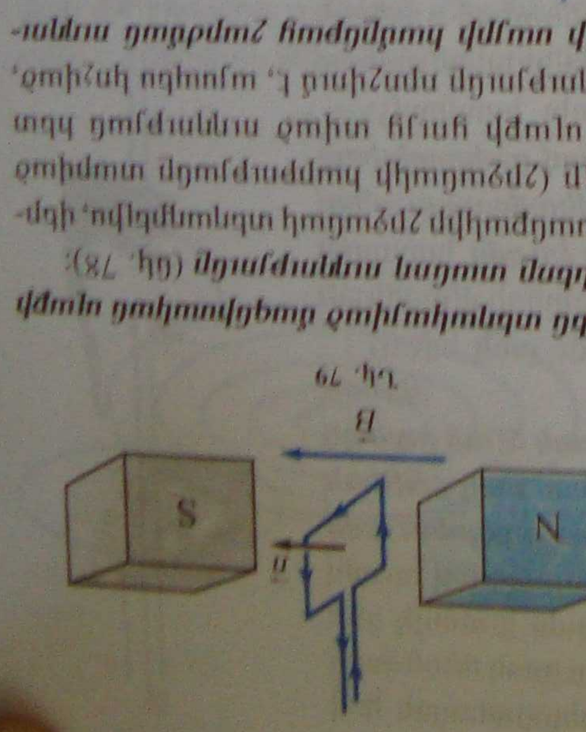
Օգտվելով մագնիսական սլաքներից՝ որոշենք ուղիղ հոսանքակիր հաղորդչի ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի ուղությունը տարբեր կետերում: Եթե հաղորդչի շրջակայքում տեղադրենք փոքրիկ մագնիսական սլաքներ (նկ. 81), ապա նրանք կդասավորվեն համակենտրոն շրջանագծերի երկայնքով, որոնց հարթություններն ուղղահայաց է հաղորդչին,



Նկ. 81



նկ. 80



նկ. 81

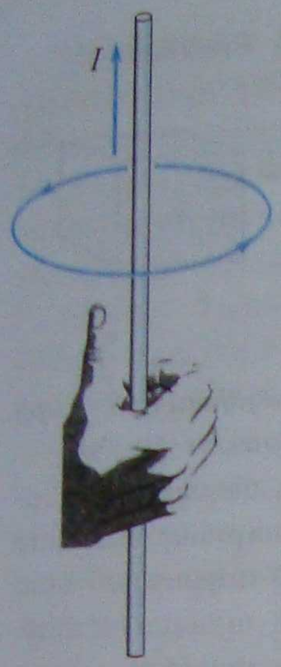
Ուղիղ հաղորդիչ հոսանքի մագնիսական ազդեցությունը մագնիսասլաքի վրա կարելի է ցույց տալ հետևյալ փորձով.

Ուղիղ հաղորդիչ հոսանքի մագնիսական ազդեցությունը մագնիսասլաքի վրա կարելի է ցույց տալ հետևյալ փորձով.

Օգտվելով մագնիսասլաքից, որոշեք ուղիղ հաղորդիչ հոսանքի մագնիսական ազդեցության ուղղությունը: Եթե հաղորդիչ տարբեր կետերում: Երբ հաղորդիչով հոսանք չի անցնում, մագնիսասլաքի առանցքները գտնվում են միմյանց զուգահեռ ուղղություններով (նկ. 81), սակայն հաղորդիչով հոսանք անցնելիս, որոշ չափով շեղվում են հաղորդչի ուղղությունից (նկ. 82): Ելնելով՝ մագնիսասլաքի վրա հաղորդչի հոսանքի ազդեցության ուղղությունից, կարելի է եզրակացնել, որ

նկ. 78

նկ. 79



Նկ. 82

իսկ կենտրոնները գտնվում են հաղորդչի վրա: Յուրաքանչյուր սլաք ցույց կտա մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունն այն կետում, որտեղ այն գտնվում է: Այդ ուղղությունը կարելի է որոշել խցանահանի կանոնով: ***Եթե խցանահանի սայրի համընթաց շարժման ուղղությունը համընկնի հաղորդչում հոսանքի ուղղության հետ, ապա նրա բռնակի պտտման ուղղությունը տվյալ կետում ցույց կտա մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը:***

Ուղիղ կամ շրջանային հոսանքի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը կարելի է որոշել նաև ***աջ ձեռքի կանոնով՝ եթե աջ ձեռքի բթամատն ուղղենք հոսանքի ուղղությամբ, ապա հոսանքակիր հաղորդիչը բռնող չորս մատները ցույց կտան մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը*** (նկ. 82):

Այսպիսով՝ պարզեցինք, թե ինչպես կարելի է որոշել մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը և ուղղությունը: Ընդհանուր դեպքում ինդուկցիայի վեկտորը տարածության տարբեր կետերում կարող է ընդունել տարբեր արժեքներ և ունենալ տարբեր ուղղություններ: Տարածության որևէ տիրույթում մագնիսական դաշտը կոչվում է ***համասեռ***, եթե այդ տիրույթի բոլոր կետերում մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորն ունի միևնույն մոդուլը և ուղղությունը՝ $\vec{B} = const$:

Մագնիսական, ինչպես և էլեկտրական դաշտի համար տեղի ունի վերադրման սկզբունքը. ***մի քանի հոսանքի (կամ հոսանքակիր հաղորդչի տարբեր տեղամասերի) ստեղծած արդյունարար մագնիսական դաշտի ինդուկցիան հավասար է առանձին հոսանքների (կամ տեղամասերի) ստեղծած մագնիսական դաշտերի ինդուկցիաների վեկտորական գումարին՝***

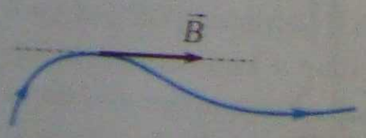
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \cdots + \vec{B}_n \quad (4.3)$$

Մագնիսական ինդուկցիայի գծեր: Էլեկտրական դաշտի նման մագնիսական դաշտը ևս կարելի է պատկերել գրաֆիկորեն՝ կառուցելով մագնիսական ինդուկցիայի գծերը:

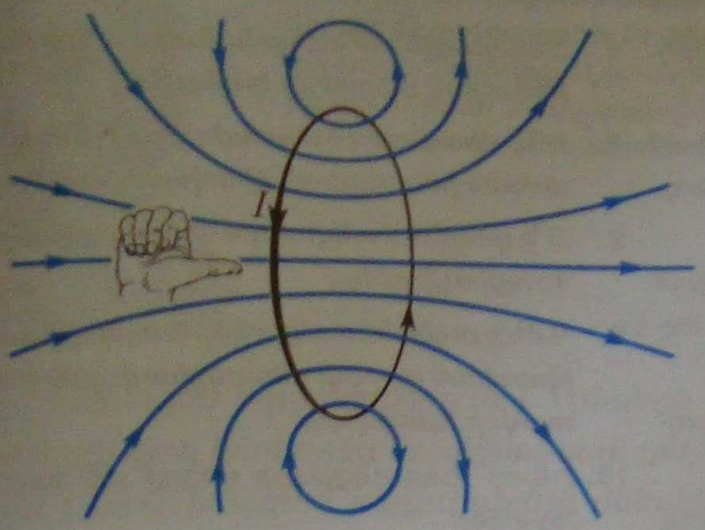
Մագնիսական ինդուկցիայի գծեր կոչվում են այն գծերը, որոնց յուրաքանչյուր կետում ինդուկցիայի վեկտորն ուղղված է այդ կետով տարված շոշափողով (նկ. 83):

Ինդուկցիայի գծերին վերագրում են ուղղություն, որը ցույց է տալիս, թե շոշափողի երկայնքով դեպի որ կողմն է ուղղված ինդուկցիայի վեկտորը (տե՛ս նաև § 6):

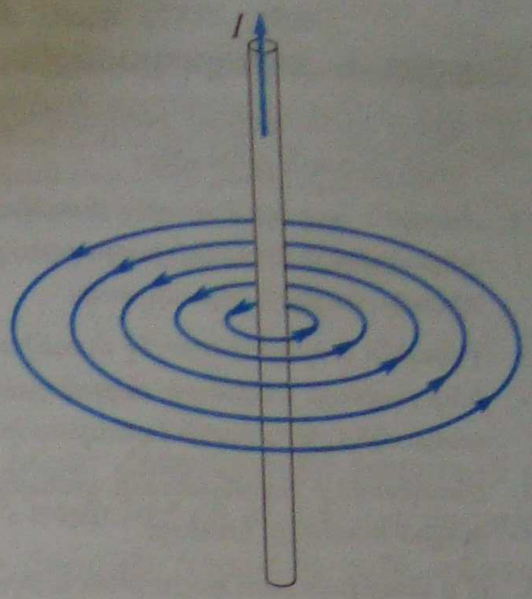
Ինդուկցիայի գծերը պատկերացում են տալիս ոչ միայն դաշտի տարբեր կետերում ինդուկցիայի վեկտորի ուղղության, այլև մոդուլի մասին: Տարածության այն տիրույթներում, որտեղ ինդուկցիայի գծերն ավելի խիտ են պատկերված, ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլն ավելի մեծ է: Ինդուկցիայի գծերի ակնառու պատկերը կարելի է ստանալ երկաթի մանր խարտուքի օգնությամբ: Մագնիսական դաշտում խարտուքի յուրաքանչյուր հատիկ մագնիսանում է և իրեն պահում է որպես փոքրիկ մագնիսական սլաք՝ դասավորվելով ինդուկցիայի համապատասխան գծի երկայնքով: Նկ. 84-ում բերված է այս եղանակով ստացված շրջանագծային հոսանքի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերի պատկերը:



Նկ. 83



Նկ. 84

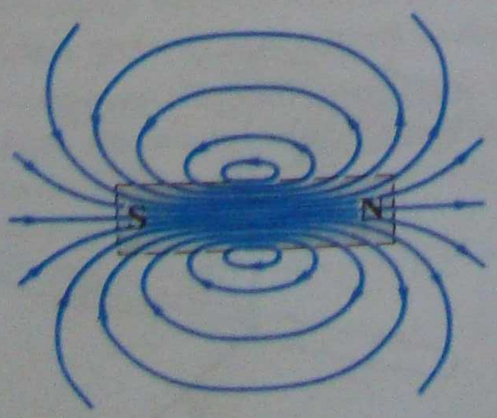


Նկ. 85

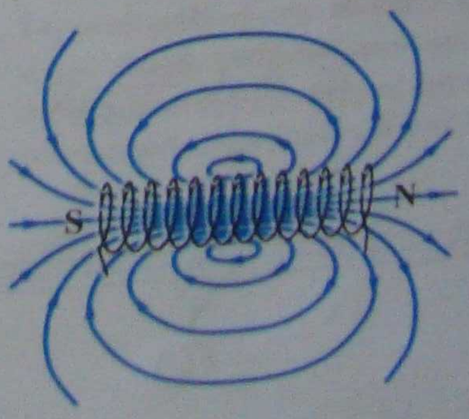
Նկ. 85-ում և նկ. 86-ում պատկերված են ուղղագիծ հոսանքակիր հաղորդչի և հաստատուն մագնիսի մագնիսական դաշտերի ինդուկցիայի գծերը: Մագնիսական դաշտը կարելի է զգալիորեն ուժեղացնել, եթե հոսանքակիր հաղորդիչը փաթաթվի պարույրի տեսքով: Արդյունքում ստացված հոսանքակիր կոճն անվանում են սոլենոիդ (հունարեն «սոլեն»՝ խողովակ բառից): Հոսանքակիր կոճի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերը պատկերված են նկ. 87-ում: Եթե կոճի երկարությունը շատ մեծ է նրա լայնական չափերից, ապա նրա ներսում դաշտը գործնականում կարելի է համարել համասեռ (ինդուկցիայի գծերը միմյանց զուգահեռ են և ունեն նույն խտությունը):

Կոճից դուրս վերջինիս դաշտը շատ նման է հաստատուն մագնիսի դաշտին: Քանի որ տարածության ցանկացած կետում ինդուկցիայի վեկտորն ունի որոշակի ուղղություն, ապա, էլեկտրական դաշտի ուժագծերի նման, մագնիսական ինդուկցիայի գծերը ևս չեն կարող հատվել (հակառակ դեպքում կստացվեր, որ հատման կետում ինդուկցիայի վեկտորն ունի մեկից ավելի ուղղություն):

Ի տարբերություն էլեկտրաստատիկ դաշտի ուժագծերի՝ մագնիսական ինդուկցիայի գծերը փակ գծեր են: Դրանք ո՛չ սկիզբ ունեն և ո՛չ էլ վերջ: Մագնիսական ինդուկցիայի գծերի փակ լինելը կապված է այն փաստի հետ, որ բնության մեջ մագնիսական լիցքեր գոյություն չունեն: Մագնիսական դաշտն առաջանում է էլեկտրական լիցքերի շարժման հետևանքով: Այն դաշտը, որի ուժագծերը փակ են, կոչվում է ***մրրկային***: Մագնիսական դաշտը մրրկային է:



Նկ. 86



Նկ. 87

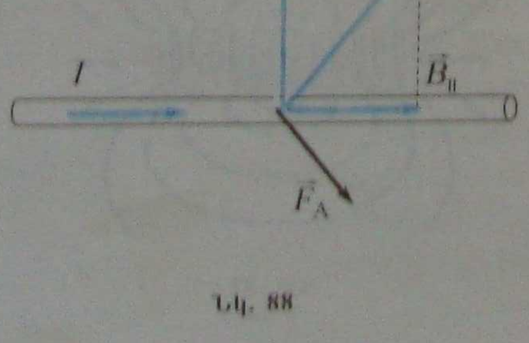
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի բանաձևը:*
2. *Ինչպե՞ս կարելի է որոշել մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը մագնիսական սլաքի օգնությամբ:*
3. *Ինչպե՞ս կարելի է որոշել մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը հոսանքակիր շրջանակի օգնությամբ:*
4. *Ձևակերպե՛ք խցանահանի կանոնը ուղղագիծ հոսանքի համար:*
5. *Ո՞ր մագնիսական դաշտն են անվանում համասեռ:*
6. *Ձևակերպե՛ք վերադրման սկզբունքը մագնիսական դաշտերի համար:*
7. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում մագնիսական ինդուկցիան միավորների ՄՀ-ում:*
8. *Ո՞ր գծերն են անվանում մագնիսական ինդուկցիայի գծեր:*
9. *Գծե՛ք ուղիղ հոսանքակիր հաղորդչի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերի մոտավոր պատկերը:*
10. *Ինչու՞ ինդուկցիայի գծերը չեն կարող հատվել:*
11. *Ինչու՞ են մագնիսական դաշտն անվանում մրրկային:*

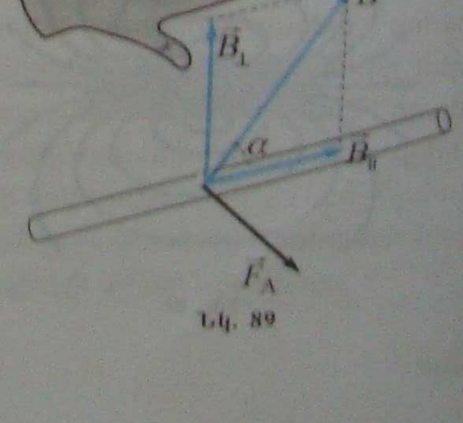
§ 45. Ամպերի ուժ

Մագնիսական դաշտի կողմից այդ դաշտում գտնվող հոսանքակիր հաղորդչի առանձին տեղամասի վրա ազդող ուժն անվանում են *Ամպերի ուժ:*

Դիցուք՝ հոսանքակիր հաղորդչի Δl երկարությամբ ուղիղ տեղամասը, որում հոսանքի ուժն I է, գտնվում է $\vec{B}$ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում և $\vec{B}$ վեկտորի ուղղության հետ կազմում է α անկյուն: Փորձը ցույց է տալիս, որ այդ անկյան արժեքը փոխելիս փոխվում է նաև դաշտի կողմից հաղորդչի տեղամասի վրա ազդող ուժը: Երբ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը համընկնում է տեղամասում հոսանքի ուղղության հետ ($\alpha = 0$) կամ նրան հակառակ է ուղղված ($\alpha = 180°$), ազդող ուժը հավասար է զրոյի, իսկ երբ ինդուկցիայի վեկտորն ուղղահայաց է տեղամասին ($\alpha = 90°$), ազդող ուժն ընդունում է իր առավելագույն արժեքը, որը, համաձայն (4.1) բանաձևի, հավասար է՝ $F_m = IB\Delta l$: Ազդող ուժն ուղիղ համեմատական է միայն $\vec{B}$-ի՝ հաղորդչին ուղղահայաց $B_\perp = B\sin\alpha$ բաղադրիչին (նկ. 88): Բազմաթիվ փորձերի արդյունքում պարզվել է, որ մագնիսական դաշտի կողմից հոսանքակիր հաղորդչի Δl երկարությամբ տեղամասի վրա ազդող Ամպերի ուժի մոդուլը՝



Նկ. 88



Նկ. 89

Ամպեր Անդրե Մարի (1775 - 1836)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս, էլեկտրադինամիկայի հիմնադիրներից: Հայտնագործել է էլեկտրական հոսանքների մագնիսական փոխազդեցության օրենքը: Աշխատել է նաև մեխանիկայի, հավանականությունների տեսության և մաթեմատիկական անալիզի բնագավառներում:

$$F_A = IB_{\perp}\Delta l = IB\Delta l \sin\alpha \quad : \qquad (4.4)$$

Այս բանաձևն արտահայտում է Ամպերի օրենքը: ***Հոսանքակիր հաղորդչի ուղիղ տեղամասի վրա համասեռ մագնիսական դաշտն ազդում է մի ուժով, որի մոդուլը հավասար է մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի, հոսանքի ուժի, տեղամասի երկարության և ինդուկցիայի վեկտորի ու հոսանքի ուղղության կազմած անկյան սինուսի արտադրյալին:***

(4.4) բանաձևը կարելի է կիրառել ոչ միայն համասեռ, այլև կետից կետ փոփոխվող մագնիսական դաշտում հոսանքակիր հաղորդչի Δl տեղամասի վրա ազդող ուժի մեծությունը որոշելու համար: Միայն այդ դեպքում տեղամասի Δl երկարությունը պետք է վերցնել այնքան փոքր, որ հնարավոր լինի այդ տեղամասում դաշտի փոփոխությունն անտեսել:

Այժմ տեսնենք, թե ինչպես կարելի է որոշել Ամպերի ուժի ուղղությունը: Փորձը ցույց է տալիս, որ Ամպերի ուժը միշտ ուղղահայաց է մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորով ու հաղորդչի Δl տեղամասով անցնող հարթությանը և որոշվում է, այսպես կոչված, ***ձախ ձեռքի կանոնով՝ եթե ձախ ձեռքը պահենք այնպես, որ ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի՝ հոսանքակիր հաղորդչի տեղամասին ուղղահայաց բաղադրիչը մտնի ափի մեջ, իսկ պարզած չորս մատներն ուղղված լինեն հոսանքի ուղղությամբ, ապա 90°-ով բացված բթամատը ցույց կտա տեղամասի վրա ազդող Ամպերի ուժի ուղղությունը*** (նկ. 89):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ուժն են անվանում Ամպերի ուժ:*
2. *Ձևակերպե՛ք Ամպերի օրենքը:*
3. *Գրե՛ք Ամպերի ուժի բանաձևը:*
4. *Ձևակերպե՛ք Ամպերի ուժի ուղղությունը որոշելու կանոնը (ձախ ձեռքի կանոն):*
5. *Ո՞ր դեպքում է մագնիսական դաշտում գտնվող հոսանքակիր հաղորդչի ուղիղ տեղամասի վրա ազդող Ամպերի ուժը հավասար զրոյի:*
6. *Օգտագործելով խցանահանի կանոնը և ձախ ձեռքի կանոնը՝ ապացուցե՛ք, որ նույն ուղղությամբ երկու զուգահեռ հոսանքներն իրար ձգում են:*
7. *Օգտագործելով խցանահանի կանոնը և ձախ ձեռքի կանոնը՝ ապացուցե՛ք, որ հակադիր ուղղություններով երկու զուգահեռ հոսանքներն իրար վանում են:*

§ 46. Լորենցի ուժ

Մագնիսական դաշտն Ամպերի ուժով ազդում է հոսանքակիր հաղորդչի վրա: Երբ հոսանքը դադարում է, հաղորդչի վրա Ամպերի ուժ չի ազդում: Քանի որ հոսանքը լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժում է, ապա բնական է ենթադրել, որ դաշտն ազդում է ոչ թե հաղորդչի, այլ նրանում կարգավորված շարժում կատարող առանձին լիցքավորված մասնիկների վրա, այսինքն՝ Ամպերի ուժը հավասար է հոսանքն առաջացնող մասնիկների վրա ազդող ուժերի համազորին: Լիցքավորված շարժվող մեկ մասնիկի վրա մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ուժը, ի պատիվ հոլանդացի ֆիզիկոս Հ. Լորենցի, անվանում են ***Լորենցի ուժ***:

Ստանանք այդ ուժի բանաձևը: Դիտարկենք $\vec{B}$ ինդուկցիայով մագնիսական դաշտում գտնվող հոսանքակիր հաղորդչի Δl երկարություն և S լայնական հատույթի մակերես ունեցող որևէ ուղիղ տեղամաս (նկ. 90): Եթե այդ տեղամասի չափերը բավական փոքր են, ապա մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի փոփոխությունն այդ տեղամասում կարելի է անտեսել և համարել, որ այն հաստատուն մեծություն է: Այդ տեղամասի վրա ազդող Ամպերի ուժը՝

$$F_A = IB\Delta l \sin\alpha : \qquad (4.5)$$

Համաձայն (2.2) բանաձևի՝

$$I = q_0 vnS , \qquad (4.6)$$

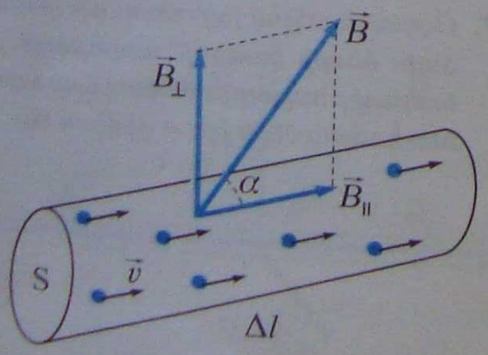
որտեղ v-ն լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման արագությունն է, n-ը՝ դրանց կոնցենտրացիան, իսկ q_0-ն՝ մասնիկի լիցքի բացարձակ արժեքը: Տեղադրելով (4.6) արտահայտությունը (4.5) բանաձևի մեջ, կստանանք՝

$$F_A = q_0 vnS\Delta lB\sin\alpha : \qquad (4.7)$$

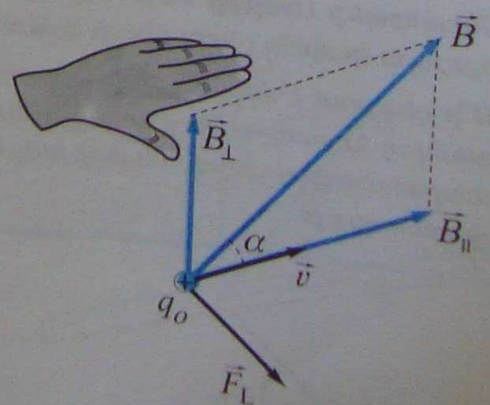
Հաշվի առնելով, որ $S\Delta l$-ը հաղորդչի տեղամասի ծավալն է, իսկ $N = nS\Delta l$ -ը՝ այդ տեղամասում լիցքավորված մասնիկների թիվը, (4.7) բանաձևը կարող ենք ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$F_A = q_0 vBN\sin a : \qquad (4.8)$$

Այս ուժը դիտարկվող տեղամասում շարժվող բոլոր N մասնիկների վրա ազդող համազոր ուժն է: Մեկ մասնիկի վրա ազդող ուժը՝



Նկ. 90



Նկ. 91

Լորենց Հենրիկ Անտոն (1853–1928)

Հոլանդացի ֆիզիկոս, էլեկտրոնային տեսության հիմնադիր: Տեսականորեն ստացել է էլեկտրամագնիսական դաշտում շարժվող լիցքի վրա ազդող ուժի բանաձևը: Ստացել է մի իներցիալ հաշվարկման համակարգից մյուսին անցնելու ձևափոխությունները, գտել զանգվածի կախումն արագությունից: Նրա աշխատանքները կարևոր նշանակություն են ունեցել հարաբերականության հատուկ տեսության ստեղծման համար:

$$F_L = \frac{F_A}{N} = q_0 B v \sin\alpha \quad : \qquad (4.9)$$

(4.9) բանաձևում α-ն մագնիսական ինդուկցիայի և լիցքավորված մասնիկի արագության վեկտորների կազմած անկյունն է (նկ. 91):

Այսպիսով՝ ***մագնիսական դաշտում շարժվող լիցքավորված մասնիկի վրա դաշտի կողմից ազդող ուժի (Լորենցի ուժ) մոդուլը հավասար է մասնիկի լիցքի, արագության, ինդուկցիայի մոդուլների և արագության ու ինդուկցիայի վեկտորներով կազմած անկյան սինուսի արտադրյալին:***

Ամպերի ուժի ուղղության սահմանումից կարելի է որոշել նաև Լորենցի ուժի ուղղությունը: Լորենցի ուժը միշտ ուղղահայաց է լիցքի շարժման $\vec{v}$ արագության ու $\vec{B}$ ինդուկցիայի վեկտորներով անցնող հարթությանը և նույնպես որոշվում է ձախ ձեռքի կանոնով՝ ***եթե ձախ ձեռքը պահենք այնպես, որ մագնիսական ինդուկցիայի՝ լիցքի արագությանն ուղղահայաց բաղադրիչը մտնի ափի մեջ, իսկ պարզած չորս մատներն ուղված լինեն դրական լիցքի շարժման ուղղությամբ (բացասական լիցքի դեպքում՝ հակառակ ուղղությամբ), ապա 90°-ով բացված բթամատը կույց կտա լիցքի վրա ազդող Լորենցի ուժի ուղղությունը*** (նկ. 91):

Լորենցի ուժն ունի մի շարք առանձնահատկություններ: Նախ՝ այն ազդում է միայն շարժվող լիցքի վրա ($v \neq 0$, $q_0 \neq 0$), ընդ որում, եթե լիցքը շարժվում է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի երկայնքով ($\alpha = 0$ կամ $\alpha = 180°$), ապա՝ $F_L = 0$: Եվ, ամենակարևորը, քանի որ այդ ուժը միշտ ուղղահայաց է մասնիկի շարժման արագությանը, ապա այն աշխատանք չի կատարում, ուստի, կինետիկ էներգիայի թեորեմի համաձայն, չի կարող փոփոխել մասնիկի կինետիկ էներգիան:

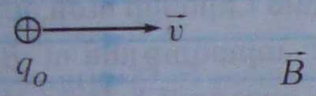
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ուժն են անվանում Լորենցի ուժ:*
2. *Գրե՛ք Լորենցի ուժի բանաձևը:*
3. *Ինչպե՞ս է որոշվում Լորենցի ուժի ուղղությունը:*
4. *Ո՞ր դեպքում է մագնիսական դաշտում շարժվող լիցքավորված մասնիկի վրա ազդող Լորենցի ուժը հավասար զրոյի:*
5. *Կարո՞ղ է արդյոք Լորենցի ուժը փոխել մասնիկի՝*
   ա) արագության մոդուլը,
   բ) արագության ուղղությունը:
6. *Ինչի՞ է հավասար Լորենցի ուժի կատարած աշխատանքը:*

§ 47. Լիցքավորված մասնիկի շարժումը համասեռ մագնիսական դաշտում

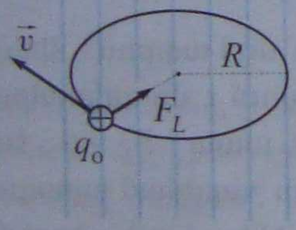
Դիտարկենք m զանգվածով և q_0 լիցքով մասնիկի շարժումը $\vec{B}$ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում: Քանի որ լիցքավորված մասնիկի (էլեկտրոն, իոն) զանգվածը շատ փոքր է, ապա նրա վրա ազդող ծանրության ուժը կարելի է անտեսել և համարել, որ նրա վրա ազդում է միայն Լորենցի $F_L = q_0 \upsilon B \sin\alpha$ ուժը: Մասնիկի շարժման բնույթը և հետագծի ձևն էապես կախված են մասնիկի սկզբնական $\vec{\upsilon}$ արագության և $\vec{B}$ մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորների կազմած α անկյունից:

1. Նախ դիտարկենք այն դեպքը, երբ մասնիկը մագնիսական դաշտ է մտնում ինդուկցիայի գծերին զուգահեռ ($\vec{\upsilon} \,||\, \vec{B}$): Այդ դեպքում $\alpha = 0$ կամ $180°$, $\sin\alpha = 0$ և, հետևաբար, $F_L = 0$: Քանի որ մասնիկի վրա ուժ չի ազդում, ապա այն կատարում է ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում (նկ. 92):



Նկ. 92

2. Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ մասնիկը դաշտ է մտնում ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց ուղղությամբ ($\vec{\upsilon} \perp \vec{B}$): Այդ դեպքում $\alpha = 90°$, $\sin\alpha = 1$, հետևաբար՝ $F_L = q_0 \upsilon B$: Քանի որ Լորենցի ուժն աշխատանք չի կատարում, ապա մասնիկի կինետիկ էներգիան, հետևաբար՝ նաև արագության մոդուլը, մնում է հաստատուն: Դրանից հետևում է, որ հաստատուն է մնում նաև Լորենցի ուժի մոդուլը: Այդ ուժը մասնիկին հաղորդում է $a_n = \upsilon^2 / R$ կենտրոնաձիգ արագացում՝ ստիպելով նրան շարժվել շրջանագծով (նկ. 93): Շրջանագծի R շառավիղը կարելի է որոշել Նյուտոնի երկրորդ օրենքի օգնությամբ՝



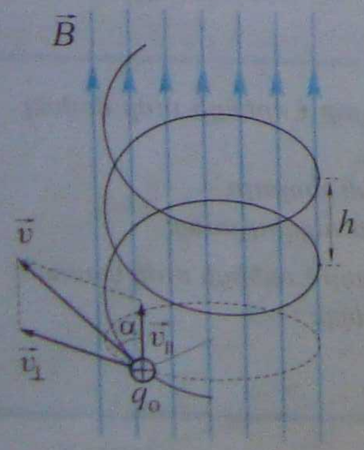
Նկ. 93

$$F = ma_n \text{ կամ } q_0 \upsilon B = \frac{m\upsilon^2}{R}, \qquad (4.10)$$

որտեղից ստանում ենք՝

$$R = \frac{m\upsilon}{q_0 B}: \qquad (4.11)$$

Տեղադրելով այս արտահայտությունը պտտման պարբերության $T = 2\pi R/\upsilon$ բանաձևի մեջ, կստանանք՝



Նկ. 94

$$T = \frac{2\pi m}{q_0 B}: \qquad (4.12)$$

(4.12) բանաձևից հետևում է, որ պտտման պարբերությունը կախված չէ մասնիկի արագությունից: Տարբեր արագություններ և նույն q_0/m տեսակարար լիցքն ունեցող մասնիկները պտտվում են տարբեր շառավիղներ ունեցող շրջանագծերով, սակայն նրանց պտտման պարբերությունը նույնն է:

3. Վերջապես, դիտարկենք այն դեպքը, երբ մասնիկը մագնիսական դաշտ է մտնում սուր (կամ բութ) անկյան տակ (նկ. 94): Այս դեպքում շարժման հետագիծը պարուրաձիգ է: Եթե մասնիկի սկզբնական արագությունը վերածենք մագնիսական ինդուկցիայի գծերին զուգահեռ $v_{\parallel} = v\cos\alpha$ և ուղղահայաց $v_{\perp} = v\sin\alpha$ բաղադրիչների, ապա նրա բարդ շարժումը կարելի է ներկայացնել որպես վերևում քննարկված երկու շարժումների վերադրում: Մասնիկը $v_{\perp}$ հաստատուն արագությամբ ուժագծերին ուղղահայաց հարթության մեջ պտտվում է $R = mv_{\perp}/q_0B = mv\sin\alpha/q_0B$ շառավղով շրջանագծով և միաժամանակ ուժագծերի երկայնքով $v_{\parallel}$ արագությամբ կատարում ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում:

Պարուրագծի քայլը, այսինքն՝ այն հեռավորությունը, որն ինդուկցիայի գծերի երկայնքով մասնիկն անցնում է մեկ պարբերության ընթացքում, կլինի հավասար՝

$$h = v_{\parallel}T = \frac{2\pi mv\cos\alpha}{q_0B}: \qquad (4.13)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչպիսի՞ շարժում է կատարում լիցքավորված մասնիկը համասեռ մագնիսական դաշտում, երբ նրա սկզբնական արագությունն ուղղված է ինդուկցիայի գծերի երկայնքով:*
2. *Ի՞նչ տեսք ունի համասեռ մագնիսական դաշտում լիցքավորված մասնիկի շարժման հետագիծը, եթե մասնիկի սկզբնական արագության և ինդուկցիայի վեկտորները՝ ա) փոխուղղահայաց են, բ) կազմում են սուր անկյուն, գ) կազմում են բութ անկյուն:*
3. *Համասեռ մագնիսական դաշտում լիցքավորված մասնիկի պտտման պարբերությունն ինչպե՞ս է կախված մասնիկի արագությունից:*

§ 48. Նյութի մագնիսական հատկությունները

Եթե մագնիսական դաշտը ստեղծվում է հոսանքի կողմից, ապա կարելի է ենթադրել, որ բնական մագնիսների ստեղծած դաշտերը նույնպես պայմանավորված են որոշակի հոսանքներով:

Հիմնվելով Էրստեդի՝ մագնիսական սլաքի վրա հոսանքակիր հաղորդչի ազդեցությունը ցույց տվող փորձերի վրա, Ամպերը ենթադրեց, որ Երկրի մագնիսականությունը պայմանավորված է նրա մեջ շրջապտույտ կատարող հոսանքներով: Այնուհետև, ընդհանրացնելով այդ գաղափարը, Ամպերն առաջ քաշեց այն վարկածը, որ յանկացած մարմնի մագնիսական հատկությունները պայմանավորված են նրանում գոյություն ունեցող տարրական հոսանքներով:

Նյութի կառուցվածքի մասին ժամանակակից պատկերացումները հաստատում են Ամպերի վարկածը: Իրոք, ատոմի ներսում յուրաքանչյուր էլեկտրոն, պտտվելով միջուկի շուրջը, առաջացնում է տարրական շրջանային հոսանք, որը ստեղծում է մագնիսական դաշտ: Մարմնի արդյունարար մագնիսական դաշտը որոշվում է բոլոր այդպիսի տարրական հոսանքների ստեղծած միկրոդաշտերի վերադրմամբ: Եթե տարրական հոսանքների հարթությունները դասավորվում են քաոսայնորեն, ապա նրանց ստեղծած միկրոդաշտերը միմյանց փոխադարձաբար չեզոքացնում են, և մարմինն արդյունարար մագնիսական դաշտ չի ստեղծում:

Արտաքին մագնիսական դաշտում տեղադրելիս տարրական հոսանքները դասավորվում են որոշակի կարգով: Նրանց միկրոդաշտերի վերադրմամբ առաջ եկած արդյունարար դաշտը դառնում է զրոյից տարբեր. նյութը մագնիսանում է:

Մագնիսական դաշտի ինդուկցիան կախված է միջավայրի մագնիսական հատկություններից: Դիցուք՝ վակուումում հոսանքակիր հաղորդչի ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի մեծությունը տարածության որևէ կետում B_0 է: Եթե այդ հաղորդիչը տեղադրենք որևէ միջավայրում, ապա այդ դաշտի ազդեցությամբ միջավայրը կմագնիսանա և կստեղծի լրացուցիչ դաշտ: Կախված վերջինիս ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունից՝ այն կարող է ուժեղացնել կամ թուլացնել սկզբնական դաշտը:

Այն ֆիզիկական մեծությունը, որը բնութագրում է նյութի մագնիսական հատկությունները և ցույց է տալիս, թե մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը տվյալ համասեռ միջավայրում քանի անգամ է մեծ (կամ փոքր) վակուումում ունեցած արժեքից, կոչվում է մագնիսական թափանցելիություն՝

$$\mu = \frac{B}{B_0} : \qquad (4.14)$$

Այս բանաձևից հետևում է, որ համասեռ միջավայրում մագնիսական ինդուկցիան՝

$$B = \mu B_0 : \qquad (4.15)$$

Նյութերի մեծ մասի մագնիսական թափանցելիությունը քիչ է տարբերվում 1-ից: Արտաքին դաշտ մտցնելիս դրանք շատ թույլ են մագնիսանում ($B \approx B_0$): Օրինակ՝ օդի համար՝ $\mu = 1{,}00000038$, պլատինի համար՝ $\mu = 1{,}00025$, ալյումինի համար՝ $\mu = 1{,}000023$, ցինկի համար՝ $\mu = 0{,}999991$, ոսկու համար՝ $\mu = 0{,}999961$ և այլն:

Այն նյութերը, որոնց մագնիսական թափանցելիությունը փոքր է մեկից՝ $\mu < 1$, կոչվում են ***դիամագնիսներ:*** Արտաքին մագնիսական դաշտում դիամագնիսական նյութերը մագնիսանում են այնպես, որ նրանց ստեղծած մագնիսական դաշտը հակառակ է ուղղվում արտաքին դաշտին և թուլացնում է այն: Դիամագնիսներ են՝ ազոտը, արծաթը, պղինձը, ոսկին և մի շարք այլ նյութեր:

Այն նյութերը, որոնց մագնիսական թափանցելիությունը մեծ է 1-ից՝ $\mu > 1$, կոչվում են ***պարամագնիսներ:*** Մագնիսացման հետևանքով այդպիսի նյութերի ստեղծած դաշտն ունի արտաքին դաշտի ուղղությունը և ուժեղացնում է այն: Պարամագնիսներ են՝ թթվածինը, կալցիումը, քրոմը, մոլիբդենը և այլն:

Որոշ նյութեր օժտված են 1-ից շատ մեծ մագնիսական թափանցելիությամբ: Այդպիսի նյութերն արտաքին մագնիսական դաշտում տեղադրելիս մագնիսանում են և ստեղծում դաշտեր, որոնք հարյուր և հազարավոր անգամ կարող են գերազանցել արտաքին դաշտը: Դրանցից են՝ երկաթը, նիկելը, կոբալտը և մի շարք այլ պարզ նյութեր ու համաձուլվածքներ: Այդ նյութերի մագնիսական թափանցելիությունը փոխվում է $10^2 \div 10^6$ սահմաններում: Օրինակ՝ պողպատի համար $\mu = 800$, իսկ երկաթի և նիկելի հատուկ համաձուլվածքի՝ սուպերմալոյի (80% Ni, 15% Fe, 5% Mo) համար՝ $\mu = 10^6$: Այդպիսի նյութերը կոչվում են ***ֆեռոմագնիսներ:***

Արտաքին դաշտը վերացնելիս, ի տարբերություն դիամագնիսների և պարամագնիսների, ֆեռոմագնիսները մնում են մագնիսացած, այսինքն՝ շարունակում են ստեղծել իրենց սեփական մագնիսական դաշտը:

Յուրաքանչյուր ֆեռոմագնիսի համար գոյություն ունի որոշակի ջերմաստիճան, որից բարձր այն կորցնում է իր մագնիսական հատկությունները: Այդ ջերմաստիճանը կոչվում է Կյուրիի ջերմաստիճան կամ ***Կյուրիի կետ***: Կյուրիի ջերմաստիճանը երկաթի համար հավասար է 753°C, իսկ կոբալտի համար՝ 1000°C:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծություններ են անվանում նյութի մագնիսական թափանցելիություն:*
2. *Ո՞ր նյութերն են կոչվում դիամագնիսներ, պարամագնիսներ և ֆեռոմագնիսներ: Բերե՛ք օրինակներ:*
3. *Ո՞ր ջերմաստիճանն է կոչվում Կյուրիի կետ:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***m = 0,2 կգ զանգված, l = 0,3 մ երկարություն և ուղղանկյուն հատույթ ունեցող հաղորդիչ ծողը գտնվում է հորիզոնական հարթության վրա, իսկ ուղղաձիգ ուղղված համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան՝ B = 0,04 Տլ: Որոշել ծողի և հարթության միջև սահքի շփման գործակիցը, եթե ծողը շարժվում է հավասարաչափ, երբ նրանով անցնող հոսանքի ուժը՝ I = 40 Ա: Հոսանքակիր հաղորդալարերի ազդեցությունն անտեսել:***

Լուծում: Ծողի վրա հորիզոնական հարթության մեջ, նրան ուղղահայաց ուղղությամբ ազդում է $F_A = IBlsina$ Ամպերի ուժը, որտեղ α-ն մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի և ծողի կազմած անկյունն է: Դիտարկվող դեպքում $\alpha = 90°$: Որպեսզի ծողը շարժվի հավասարաչափ, անհրաժեշտ է, որ Ամպերի ուժը մոդուլով հավասար լինի ծողի վրա ազդող սահքի շփման $F_{շփ} = \mu N = \mu mg$ ուժին. $IlBsina = \mu mg$, որտեղից՝

$$\mu = \frac{IlBsin\alpha}{mg} = 0,24 :$$

2. ***Դադարի վիճակում գտնվող էլեկտրոնը, արագացնելով էլեկտրական դաշտի՝ U = 1000 Վ պոտենցիալների տարբերություն ունեցող տեղամասում, մտնում է մագնիսական դաշտ՝ ուղղահայաց ինդուկցիայի գծերին: Որոշել էլեկտրոնի հետագծի շառավիղը և պտտման պարբերությունը, եթե մագնիսական դաշտի ինդուկցիան՝ B=0,01 Տլ, էլեկտրոնի լիցքի մոդուլը՝ $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Կլ, զանգվածը՝ $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ կգ:***

Լուծում: Էլեկտրոնի սկզբնական արագությունը՝ $v_0 = 0$, ուստի էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար է էլեկտրոնի ձեռք բերած կինետիկ էներգիային՝

$$eU = \frac{m_e v^2}{2}, \text{ որտեղից՝ } v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} :$$

Մագնիսական դաշտի կողմից էլեկտրոնի վրա ազդող Լորենցի ուժի մոդուլը որոշվում է $F_L = evBsin\alpha$ բանաձևով, որտեղ α-ն մագնիսական ինդուկցիայի և արագության վեկտորների կազմած անկյունն է: Այս դեպքում $\alpha = 90°$, $sin\alpha = 1$: Լորենցի ուժն ուղղահայաց է էլեկտրոնի արագությանը և նրան հաղորդում է $a = v^2/R$ կենտրոնաձիգ արագացում: Համաձայն Նյուտոնի երկրորդ օրենքի՝

$F_L = m_e a$ կամ $evB = \frac{m_e v^2}{R}$, որտեղից՝ $R = \frac{m_e v}{eB}$:

Ստացված բանաձևի մեջ տեղադրելով արագության արտահայտությունը՝ էլեկտրոնի ուղեծրի շառավղի համար ստանում ենք՝

$$R = \frac{m_e}{eB}\sqrt{\frac{2eU}{m_e}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_e U}{e}} = 0{,}01 \text{ մ}:$$

Էլեկտրոնի պտտման պարբերությունը՝

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m_e}{eB} = 3{,}6 \cdot 10^{-9} \text{ վ}:$$

Խնդիրներ

1. *Համասեռ մագնիսական դաշտում, մագնիսական ինդուկցիայի գծերի նկատմամբ 30° անկյան տակ տեղադրված 2 մ երկարությամբ հաղորդալարի վրա, որով անցնում է 50 Ա հոսանք, մագնիսական դաշտն ազդում է 5Ն ուժով: Որոշել մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը:*
2. *Հաղորդչում, որի ակտիվ (դաշտում գտնվող) մասի երկարությունը 0,08 մ է, հոսանքի ուժը հավասար է 50Ա-ի: Այն գտնվում է 0,02Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում՝ ուղղահայաց ինդուկցիայի գծերին: Գտնել կատարված աշխատանքը, եթե հաղորդիչը ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց ուղղությամբ հավասարաչափ տեղափոխվել է 0,1 մ-ով:*
3. *Էլեկտրոնը շարժվում է $4 \cdot 10^{-3}$Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում: Գտնել նրա պտտման պարբերությունը:*
4. *Էլեկտրոնը մտնում է $5 \cdot 10^{-3}$ Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտ՝ նրա ուժագծերի ուղղությանն ուղղահայաց և դաշտի ազդեցությամբ շարժվում 0,1 մ շառավիղ ունեցող շրջանագծով: Որոշել էլեկտրոնի իմպուլսի մոդուլը:*
5. *Էլեկտրոնը $2 \cdot 10^{-2}$ Տլ ինդուկցիայով մագնիսական դաշտում շարժվում է 0,01 մ շառավղով շրջանային ուղեծրով: Ինչի՞ է հավասար էլեկտրոնի կինետիկ էներգիան:*
6. *Պրոտոնը մտնում է B ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտ՝ինդուկցիայի գծերին ուղղահայաց ուղղությամբ: Քանի՞ պտույտ կկատարի պրոտոնը t ժամանակամիջոցում:*
7. *v արագությամբ շարժվող էլեկտրոնը ինդուկցիայի գծերի նկատմամբ α անկյան տակ մտնում է B ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտ: Գտնել այն պարուրագծի շառավիղը և քայլը, որով կշարժվի էլեկտրոնը:*

ԳԼՈՒԽ 4-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Շարժվող լիցքերը (էլեկտրական հոսանքը) շրջակա տարածության մեջ ստեղծում են մագնիսական դաշտ: Մագնիսական դաշտն ազդում է շարժվող լիցքերի (էլեկտրական հոսանքի) վրա:
2. Մագնիսական դաշտի ուժային բնութագիրը մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորն է: Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի B մոդուլը հավասար է դաշտի կողմից հո-

սանքակիր հաղորդչի տեղամասի վրա ազդող F_m առավելագույն ուժի հարաբերությանը I հոսանքի ուժի և այդ տեղամասի Δl երկարության արտադրյալին՝

$$B = \frac{F_m}{I\Delta l};$$

3. Որպես մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի ուղղություն ընդունում են մագնիսական դաշտում ազատ տեղակայված հոսանքակիր շրջանակի նորմալի ուղղությունը: Այն համընկնում է դաշտում գտնվող մագնիսական սլաքի հարավային բևեռից դեպի հյուսիսային բևեռ տանող ուղղությանը:

4. Ուղղագիծ հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի ուղղությունը որոշվում է խցանահանի կանոնով կամ աջ ձեռքի կանոնով:

5. Մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի միավորը ՄՀ-ում 1 տեսլան է (1Տլ): Դա այնպիսի համասեռ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան է, որը 1մ երկարությամբ հաղորդչի վրա ազդում է 1Ն առավելագույն ուժով, երբ նրանում հոսանքի ուժը 1Ա է:

6. Մագնիսական ինդուկցիայի գծեր կոչվում են այն գծերը, որոնց յանկացած կետում ինդուկցիայի վեկտորն ուղղված է այդ կետով տարված շոշափողով: Մագնիսական ինդուկցիայի գծերը փակ են, այդ պատճառով մագնիսական դաշտը կոչվում է մրրկային:

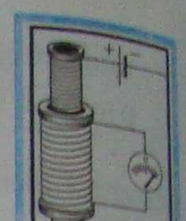
7. Ամպերի օրենքի համաձայն՝ հոսանքակիր հաղորդչի Δl երկարությամբ ուղիղ տեղամասի վրա մագնիսական դաշտն ազդում է $F_A = IB\Delta l\sin\alpha$ ուժով, որտեղ α-ն հոսանքի ուղղության և մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի կազմած անկյունն է: Այդ ուժի ուղղությունը որոշվում է ձախ ձեռքի կանոնով:

8. Շարժվող լիցքավորված մասնիկի վրա մագնիսական դաշտն ազդում է Լորենցի ուժով, որի մոդուլը՝ $F_L = q_0 B\upsilon\sin\alpha$, որտեղ α-ն մասնիկի $\vec{\upsilon}$ արագության և $\vec{B}$ ինդուկցիայի վեկտորների կազմած անկյունն է: Լորենցի ուժի ուղղությունը որոշվում է ձախ ձեռքի կանոնով: Այն ուղղահայաց է մասնիկի արագությանը և այդ պատճառով աշխատանք չի կատարում:

9. Կախված այն հանգամանքից, թե լիցքավորված մասնիկն ինդուկցիայի գծերի նկատմամբ ինչ անկյան տակ է մտնում մագնիսական դաշտ, մասնիկի հետագիծը կարող է լինել ուղիղ գիծ, շրջանագիծ կամ պարուրագիծ:

10. Համասեռ միջավայրում մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի հարաբերությունը վակուումում ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլին կոչվում է մագնիսական թափանցելիություն՝ $\mu = B/B_0$:

11. Բոլոր նյութերը մագնիսական դաշտում մագնիսանում են: Կախված մագնիսացման բնույթից՝ նյութերը բաժանվում են դիամագնիսների, պարամագնիսների և ֆերոմագնիսների:



5 ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՄԱԿԱԾՈՒՄ

§ 49. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը

Ֆարադեյի և Ամպերի կատարած փորձերը ցույց տվեցին էլեկտրական և մագնիսական երևույթների կապի միայն մի կողմը, այն, որ էլեկտրական հոսանքը ստեղծում է մագնիսական դաշտ:

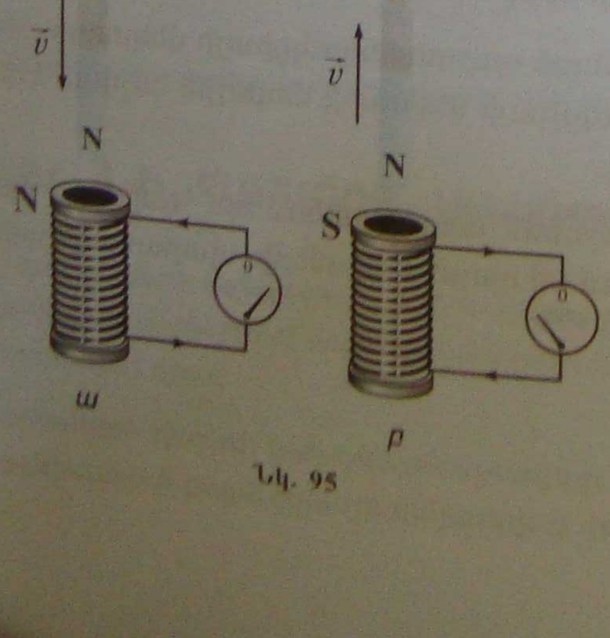
Ծանոթանալով Էրսթեդի փորձերին՝ Ֆարադեյը իր առջև դրեց հակադարձ խնդիրը. ինչ էլեկտրական հոսանքներ ստեղծում մագնիսական դաշտ, որքան էլ դժվար չէ՞ արդյոք մագնիսական դաշտի օգնությամբ ստանալ էլեկտրական հոսանք:

Մոտ տասը տարվա երկարատև հետազոտություններից հետո, 1831 թ. Ֆարադեյին հաջողվեց փորձով ապացուցել, որ փոփոխական մագնիսական դաշտը հաղորդիչ կոնտուրում ստեղծում է էլեկտրական հոսանք: Այդ երևույթը կոչվեց ***էլեկտրամագնիսական մակածում:***

Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի էությունը լուսաբանելու համար դիտարկենք հետևյալ փորձերը:

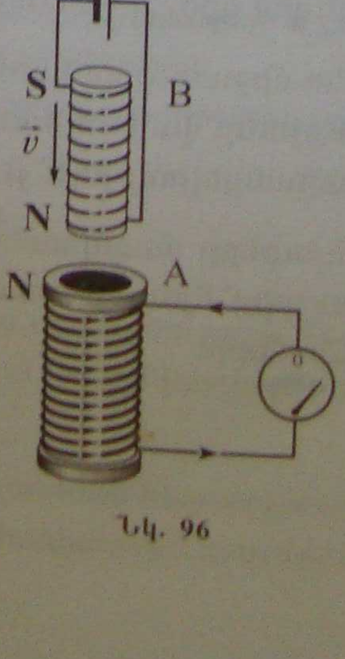
Մետաղալարե փաթույթով կոճիկ և փաթույթի ծայրերին միացված գալվանոմետրից կազմենք փակ շղթա, որը չի պարունակում հոսանքի աղբյուր: Եթե կոճի մեջ մտցնենք հաստատուն մագնիս (նկ. 95,ա), ապա կնկատենք, որ գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է. կոճում հոսանք է առաջանում: Մագնիսը կոճի մեջ անշարժ պահելիս հոսանքը դադարում է:

Կոճիկ մագնիսը հանելիս (նկ. 95,բ) գալվանոմետրի սլաքը դարձյալ շեղվում է, սակայն այս անգամ արդեն հակառակ ուղղությամբ: Հոսանք առաջանում է նաև այն դեպքում, երբ շարժում ենք կոճը, իսկ մագնիսը՝ պահում դադարի վիճակում:

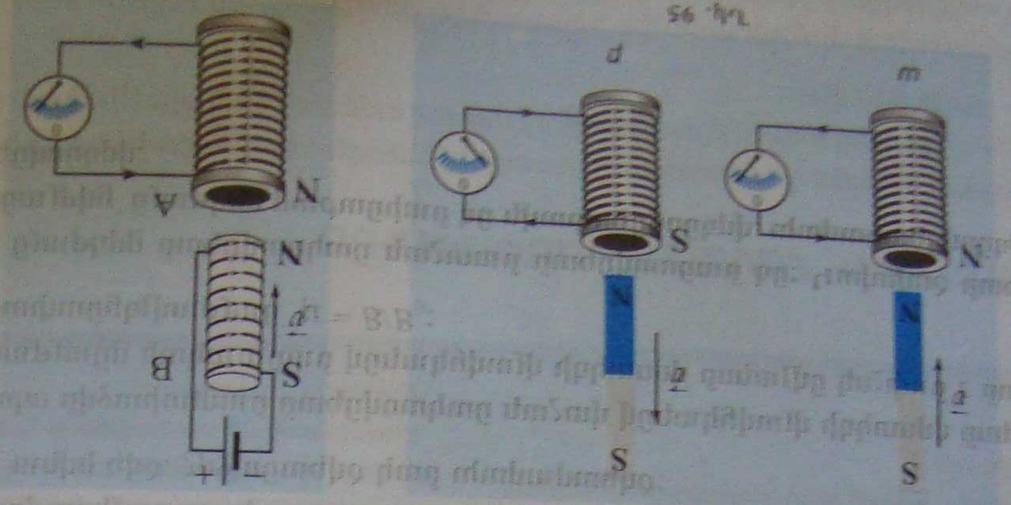


ա բ

Նկ. 95



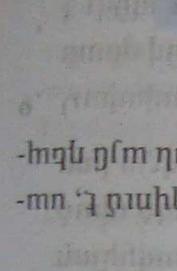
Նկ. 96



Նկ. 95

Նկ. 96

5 ԷԼԵԿՏՐԱՍԱՐՔԱՅԻՆ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐ



§ 49. Էլեկտրաչափական սեփականության երևույթը

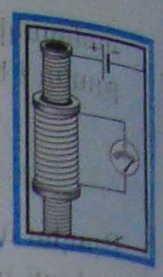
Էրստեդի և Լևսեքի փորձերը ցույացնեցին էլեկտրականության և մագնիսականության երևույթների միջև կապը, այն, որ էլեկտրական հոսանքը առաջացնում է մագնիսական դաշտ:

Ծագրավոհոլ Էրստեդի փորձերը՝ ՃԱմպերը իր առջև դրեց հակադարձ խնդիրը. եթե էլեկտրական հոսանքը առաջացնում է մագնիսական դաշտ, ապա հնարավոր չէ՞ արդյոք մագնիսական դաշտի օգտագործելով էլեկտրական հոսանք:

Ըստ ապա ինքը փնտրատարերելիկ հետո, 1831 թ. Ֆարադեյը հայտնաբերեց հետևյալ երևույթը՝ որ փոփոխական մագնիսական դաշտը հարուցում է էլեկտրական հոսանք: Այդ երևույթն անվանեցին ***էլեկտրամագնիսական ինդուկցիա:***

Էլեկտրամագնիսական ինդուկցիայի երևույթը հանգամանալու համար մի մարտկոց միացնենք մետաղալարից պատրաստված փակ շրջանակին (նկ. 95,ա), ապա միացնենք զգայուն գալվանոմետր: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ա), ապա միացնենք զգայուն գալվանոմետր, որ գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք չի առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,բ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,գ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,դ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ե) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,զ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,է) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ը) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,թ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ժ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ի) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,լ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,խ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ծ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,կ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,հ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ձ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ղ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ճ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,մ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,յ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ն) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,շ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ո) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,չ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,պ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ջ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ռ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ս) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,վ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,տ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ր) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ց) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ւ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,փ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ք) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,օ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում: Եթե փակ մետաղալարից պատրաստված շրջանակը (նկ. 95,ֆ) գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է զրոյական բաժանումից, ապա էլեկտրական հոսանք է առաջանում:

5 ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՄԱԿԱԾՈՒՄ



§ 49. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը

Էրստեդի և Ամպերի փորձերը ցույց տվեցին էլեկտրական և մագնիսական երևույթների կապի միայն մի կողմը, այն, որ էլեկտրական հոսանքը ստեղծում է մագնիսական դաշտ:

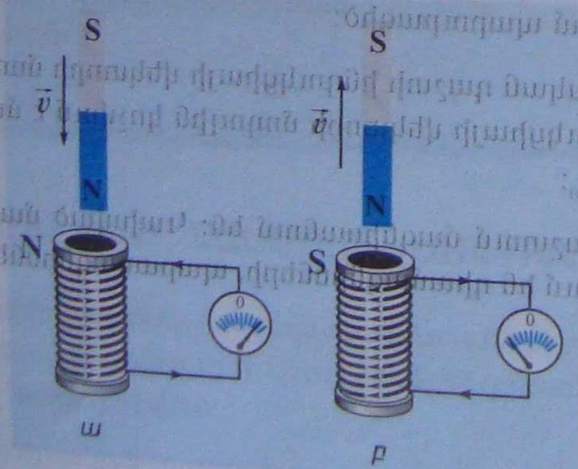
Ծանոթանալով Էրստեդի փորձերին՝ Ֆարադեյն իր առջև դրեց հակադարձ խնդիրը. եթե էլեկտրական հոսանքը ստեղծում է մագնիսական դաշտ, ապա հնարավոր չէ՞ արդյոք մագնիսական դաշտի օգնությամբ ստանալ էլեկտրական հոսանք:

Մոտ տասը տարվա երկարատև հետազոտություններից հետո, 1831 թ. Ֆարադեյին հաջողվեց փորձով ապացուցել, որ փոփոխական մագնիսական դաշտը հաղորդիչ կոնտուրում ստեղծում է էլեկտրական հոսանք: Այդ երևույթը կոչվեց ***էլեկտրամագնիսական մակածում:***

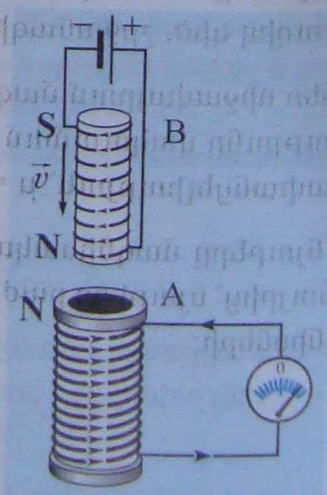
Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի էությունը լուսաբանելու համար դիտարկենք հետևյալ փորձերը:

Մետաղալարե փաթույթով կոճից և փաթույթի ծայրերին միացված գալվանոմետրից կազմենք փակ շղթա, որը չի պարունակում հոսանքի աղբյուր: Եթե կոճի մեջ մտցնենք հաստատուն մագնիս (նկ. 95,ա), ապա կնկատենք, որ գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է. կոճում հոսանք է առաջանում: Մագնիսը կոճի մեջ անշարժ պահելիս հոսանքը դադարում է:

Կոճից մագնիսը հանելիս (նկ. 95,բ) գալվանոմետրի սլաքը դարձյալ շեղվում է, սակայն այս անգամ արդեն հակառակ ուղղությամբ: Հոսանք առաջանում է նաև այն դեպքում, երբ շարժում ենք կոճը, իսկ մագնիսը՝ պահում դադարի վիճակում:

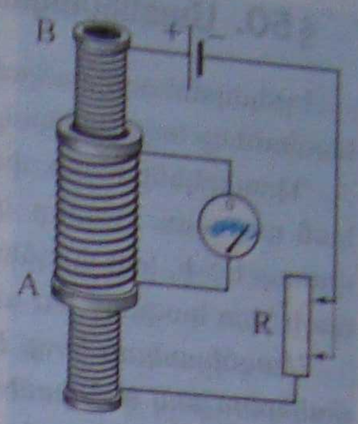


Նկ. 95



Նկ. 96

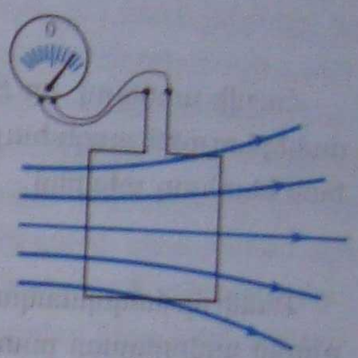
Դիտարկենք մեկ այլ փորձ: Մետաղալարն փաթույթով A կոճը միացնենք գալվանոմետրին, իսկ B կոճը՝ հոսանքի աղբյուրին (նկ. 96): Երբ կոճերը միմյանց նկատմամբ անշարժ են, գալվանոմետրն A կոճում հոսանք չի գրանցում, որքան էլ որ մեծ լինի B կոճով անցնող հոսանքի ուժը (հետևաբար՝ նաև նրա ստեղծած մագնիսական դաշտը): Եթե այժմ B կոճը շարժենք, ապա կնկատենք, որ գալվանոմետրը հոսանք է ցույց տալիս: Այդ հոսանքն առաջանում է միայն շարժման ժամանակ: Ընդ որում, որքան արագ է շարժվում կոճը, այնքան մեծ է հոսանքի ուժը: Հոսանքն առաջանում է կոճը և՛ մոտեցնելիս, և՛ հեռացնելիս, սակայն այդ դեպքերում հոսանքներն ունեն հակառակ ուղղություններ: Հոսանք առաջանում է նաև այն դեպքում, երբ B կոճն ենք բողնում անշարժ և շարժում ենք A կոճը:



Նկ. 97

Այժմ B կոճը տեղադրենք A կոճի մեջ և հոսանքի ուժը փոփոխենք ռեոստատի օգնությամբ (նկ. 97):

Հոսանքի ուժի, հետևաբար՝ նաև նրա ստեղծած մագնիսական դաշտի ամեն մի փոփոխության ժամանակ գալվանոմետրն A կոճում հոսանք է գրանցում:


Նկ. 98

Նկարագրված բոլոր փորձերն ունեն մեկ ընդհանուր առանձնահատկություն. հոսանքի աղբյուր չպարունակող փակ էլեկտրական շղթայում (կոնտուրում) հոսանք է մակածվում միայն այն դեպքում, երբ փոփոխվում է այն մագնիսական դաշտը, որում գտնվում է շղթան:

Նշենք սակայն՝ ոչ միշտ է, որ մագնիսական դաշտի փոփոխությունը հաղորդիչ կոնտուրում հոսանք է մակածում: Եթե գալվանոմետրին միացված հարթ, հաղորդիչ կոնտուրն անհամասեռ մագնիսական դաշտում տեղափոխենք այնպես, որ նրանով սահմանափակված մակերևույթը շարժման ընթացքում մնա ինդուկցիայի գծերին զուգահեռ, այսինքն՝ ինդուկցիայի գծերը չհատեն այդ մակերևույթը (նկ. 98), ապա նրանում հոսանք չի առաջանա:

Ընդհանրացնելով նկարագրված փորձերի արդյունքները՝ Ֆարադեյը հանգեց այն եզրակացության, որ *փակ հաղորդիչ կոնտուրում մակածման հոսանք առաջանում է միայն այն դեպքում, երբ կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթ թափանցող մագնիսական ինդուկցիայի գծերի թիվը փոփոխվում է:*

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞րն է էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի էությունը:*
2. *Նկարագրե՛ք փորձեր, որոնց օգնությամբ կարելի է դիտել էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը:*
3. *Ո՞ր դեպքում է հաղորդիչ փակ կոնտուրում մակածվում էլեկտրական հոսանք:*
4. *Կարո՞ղ է արդյոք ժամանակի ընթացքում անփոփոխ համասեռ մագնիսական դաշտում շարժվող փակ կոնտուրում մակածվել էլեկտրական հոսանք:*

§ 50. Մագնիսական հոսք

Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը քանակապես նկարագրելու համար ներմուծենք նոր ֆիզիկական մեծության՝ ***մագնիսական հոսքի*** գաղափարը:

Դիտարկենք հարթ, փակ հաղորդիչ կոնտուր, որը գտնվում է համասեռ մագնիսական դաշտում: Դիցուք՝ կոնտուրով սահմանափակված մակերեսը հավասար է S-ի, իսկ մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորն այդ մակերևույթի $\vec{n}$ նորմալի հետ կազմում է α անկյուն (նկ. 99):

Մագնիսական հոսք կամ մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի հոսք որևէ հարթ մակերևույթով կանվանենք այն սկալյար մեծությունը, որը հավասար է ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի, այդ մակերևույթի մակերեսի և ինդուկցիայի վեկտորի ու մակերևույթի նորմալի կազմած անկյան կոսինուսի արտադրյալին՝

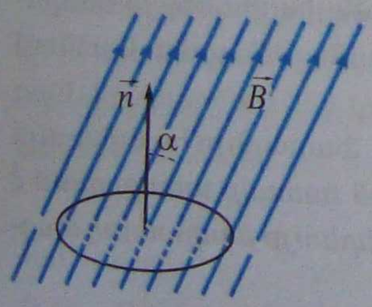
$$\Phi = BS\cos\alpha \qquad (5.1)$$

Հաշվի առնելով, որ $B_n = B\cos\alpha$ մեծությունը մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի՝ մակերևույթին ուղղահայաց բաղադրիչն է, (5.1) բանաձևը կարող ենք ներկայացնել նաև հետևյալ տեսքով՝

$$\Phi = B_n S: \qquad (5.2)$$

Քանի որ մագնիսական դաշտը գրաֆիկորեն պատկերելիս ինդուկցիայի գծերի խտությունը սովորաբար ընտրվում է այնպես, որ այն համեմատական լինի ինդուկցիայի վեկտորի մեծությանը,ապա կարող ենք պնդել, որ որևէ մակերևույթով մագնիսական հոսքը համեմատական է մագնիսական ինդուկցիայի այն գծերի թվին, որոնք թափանցում են այդ մակերևույթ:

Եթե մագնիսական դաշտն անհամասեռ է կամ կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթը հարթ չէ, ապա մակերևույթի տարբեր կետերում ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը և ուղղությունը կարող են տարբեր լինել: Այդ դեպքում մագնիսական հոսքը հաշվելու համար ամբողջ մակերևույթը պետք է բաժանել բավականաչափ փոքր տեղամասերի (այնքան փոքր, որ տվյալ տեղամասում ինդուկցիայի վեկտորի փոփոխությունը հնարավոր լինի անտեսել, իսկ տեղամասը համարել հարթ), (5.1) բանաձևով հաշվել հոսքը յուրաքանչյուր տեղամասով և ստացված արդյունքները գումարել:



Նկ. 99

Միավորների ՄՀ-ում մագնիսական հոսքի միավորը վեբերն է (*1 Վբ՝ ի պատիվ գերմանացի ֆիզիկոս Վեբերի*): ***1 Վբ մագնիսական հոսք առաջացնում է 1 Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտը մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորին ուղղահայաց ($\alpha = 0$) 1 մ^2 մակերես ունեցող մակերևույթով:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք մագնիսական հոսքի սահմանումը:*
2. *Ո՞ր դեպքում է փակ կոնտուրով համասեռ մագնիսական դաշտի հոսքը հավասար զրոյի:*
3. *Ինչպե՞ս հաշվել մագնիսական հոսքն անհամասեռ մագնիսական դաշտի դեպքում:*

§ 51. Մականման հոսանքի ուղղությունը: Լենցի կանոնը

Փորձերը ցույց են տալիս, որ փակ հաղորդիչ կոնտուրում մականված հոսանքի ուղղությունը կախված է մագնիսական հոսքի փոփոխման վարքից: Օրինակ՝ նկ. 95-ում պատկերված փորձում կոճում մականված հոսանքի ուղղությունը կախված է այն հանգամանքից՝ մոտեցնու՞մ ենք արդյոք մագնիսը կոճին, թե՞ հեռացնում նրանից:

Իսկ հնարավո՞ր է արդյոք նախապես որոշել մականված հոսանքի ուղղությունը:

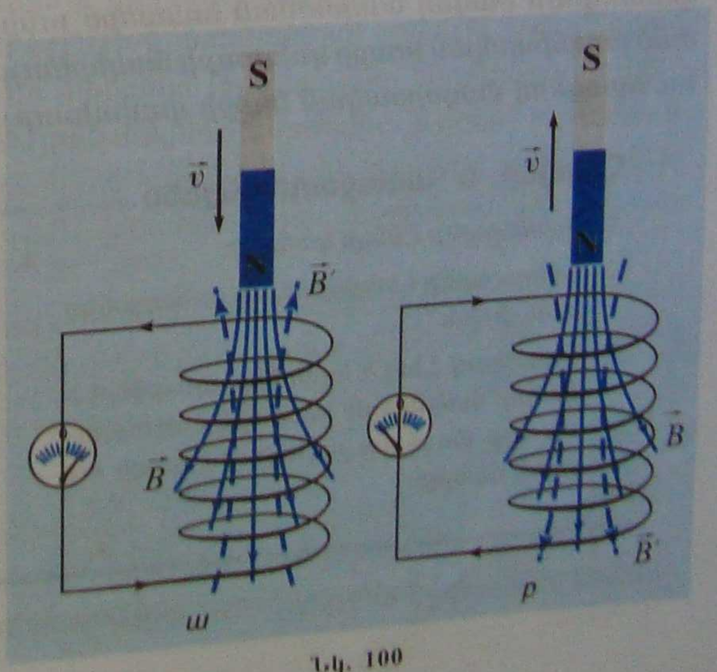
Այս հարցին պատասխանելու համար դարձյալ անդրադառնանք վերը նշված փորձին: Երբ հաստատուն մագնիսը մոտեցնում ենք կոճին (ասենք՝ հյուսիսային բևեռով), այն վանվում է կոճի կողմից, իսկ հեռացնելիս՝ ձգվում: Այս փաստերը լիովին բավարար են նշված դեպքերում կոճում մականված հոսանքի ուղղությունը որոշելու համար: Իրոք, կոճին մոտեցնելիս մագնիսի վանվելը նշանակում է, որ մականման հոսանքի շնորհիվ կոճի՝ մագնիսին մոտ ծայրում առաջացել է հյուսիսային բևեռ (հիշենք, որ նույնանուն բևեռները իրար վանում են): Քանի որ մագնիսական ինդուկցիայի գծերը դուրս են գալիս հյուսիսային բևեռից (մագնիսում դրանք ուղղված են հարավային բևեռից դեպի հյուսիսային բևեռ), ապա մականման հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի գծերը կունենան նկ. 100,ա-ում պատկերված ուղղությունը (դրանք նշված են կետագծերով): Իսկ այդ ուղղությամբ մագնիսական դաշտ կառաջանա այն դեպքում, երբ կոճում հոսանքն ունենա ժամսլաքի պտտման հակառակ ուղղությունը:

Նման դատողություններով մենք կարող ենք համոզվել, որ մագնիսը կոճից հեռանալիս մականման հոսանքն ունի ժամսլաքի պտտման ուղղությունը (նկ. 100,բ): Այս դեպքում կոճի՝ մագնիսին մոտ ծայրին առաջանում է մագնիսական հարավային բևեռ, և կոճը ձգվում է հաստատուն մագնիսի կողմից:

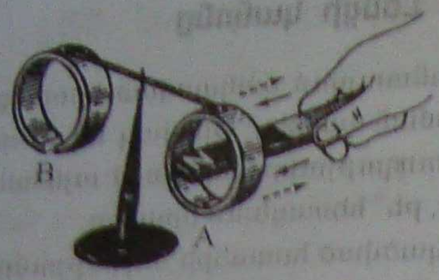
Էլեկտրամագնիսական մականման բոլոր փորձերում դիտվում է հետևյալ ընդհանուր օրինաչափությունը. ***փակ հաղորդիչ կոնտուրում ծագող մականման հոսանքն ունի այնպիսի ուղղություն, որ իր մագնիսական դաշտով հակազդում է այդ հոսանքը ստեղծող պատճառին:***

Այս օրինաչափությունը հայտնաբերել է Է.Լենցը (Լենցի կանոն):

Լենցի կանոնն էներգիայի պահպանման օրենքի դրսևորումն է էլեկտրամագնիսական մականման երևույթում: Իրոք, եթե նկարագրված փորձում մագնիսը կոճին մոտեցնելիս նրանում մականված հոսանքն ունենար այնպիսի ուղղություն, որ մագնիսը ձգվեր կոճի կողմից, ապա այն կշարժվեր արագացմամբ՝ մեծացնելով իր կինետիկ էներգիան: Կստացվեր, որ մականման հոսանքի հաշվին կոճում անջատվում է ջոուլյան ջերմություն և



Նկ. 100



Նկ. 101

միաժամանակ մագնիսի կինետիկ էներգիան աճում է, ինչը հակասում է էներգիայի պահպանման օրենքին:

Լենցի կանոնի իրավակիրությունը կարելի է ցուցադրել հետևյալ սարքի օգնությամբ (նկ. 101):

Հորիզոնական ծողը, որի ծայրերին ամրացված են հոծ (A) և կտրվածք ունեցող (B) ալյումինե օղակներ, կարող է պտտվել ուղղաձիգ առանցքի շուրջ: Երբ հաստատուն մագնիսը մոտեցնում են B օղակին, սարքը չի պտտվում: Դա բացատրվում է նրանով, որ կտրվածքի պատճառով B օղակում մակածման հոսանք չի առաջանում, և քանի որ դրա հետ մեկտեղ ալյումինը գործնականում մագնիսական հատկություններ չի դրսևորում, ապա մագնիսը չի փոխազդում B օղակի հետ:

Եթե մագնիսն անշարժ է, ապա A օղակը նրա հետ չի փոխազդում: Սակայն երբ մագնիսը մոտեցնում ենք A օղակին, վերջինս վանվում է նրանից (նկ. 101, հոծ սլաքներ), իսկ երբ փորձում ենք մագնիսը հեռացնել, օղակը ձգվում է դեպի այն (նկ. 101, կետագծով սլաքներ): Երկու դեպքում էլ A օղակում ծագած մակածման հոսանքի ուղղությունը համապատասխանում է Լենցի կանոնին:

Լենցի կանոնը կարելի է ձևակերպել նաև այլ կերպ: Մագնիսը կոճին մոտեցնելիս նրա ստեղծած հոսքը կոճում աճում է: Այդ դեպքում, ինչպես երևում է նկ. 100,ա-ից, մակածման հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի $\vec{B}'$ վեկտորը կոճի ներսում հակառակ է ուղղված մագնիսի ստեղծած դաշտի ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորին և խոչընդոտում է կոճի ներսում մագնիսական հոսքի աճին: Մագնիսը կոճից հեռացնելիս նրա ստեղծած հոսքը կոճում փոքրանում է: Այս դեպքում $\vec{B}'$ վեկտորն ունի $\vec{B}$ վեկտորի ուղղությունը և խոչընդոտում է հոսքի փոքրացմանը:

Այսպիսով՝ երկու դեպքում էլ մակածման հոսանքի մագնիսական դաշտը խոչընդոտում է հոսանքն առաջացնող մագնիսական հոսքի փոփոխմանը: *Հետևաբար՝ փակ կոնտուրում ծագող մակածման հոսանքն ունի այնպիսի ուղղություն, որ նրա ստեղծած մագնիսական հոսքը կոնտուրի մակերևույթով ձգտում է համակշռել այդ հոսանքն առաջացնող մագնիսական հոսքի փոփոխությունը:*

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք Լենցի կանոնը:*
2. *Նկարագրե՛ք Լենցի կանոնը լուսաբանող որևէ փորձ:*
3. *Օգտվելով Լենցի կանոնից՝ պատկերե՛ք կոճում մակածման հոսանքի ուղղությունը, երբ մագնիսը շարժվում է դեպի այն (տե՛ս նկարը):*
4. *Օգտվելով Լենցի կանոնից՝ պատկերե՛ք կոճում մակածման հոսանքի ուղղությունը, երբ մագնիսը շարժվում է դեպի ձախ:*

§ 52. Լաբորատոր աշխատանք N6. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի ուսումնասիրումը

Աշխատանքի նպատակը. Ուսումնասիրել էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը. հետևել կոճում մակածման հոսանքի առաջացմանը և համոզվել, որ տեղի ունի Լենցի կանոնը:

Չափամիջոցներ. 1. միլիամպերմետր կամ միկրոամպերմետր:

Նյութեր և սարքեր. 1. հոսանքի աղբյուր, 2. ռեոստատ, 3. պայտաձև մագնիս, 4. միջուկներով կոճեր, 5. մագնիսական սլաք կամ կողմնացույց, 6. անջատիչ, 7. միացնող հաղորդալարեր:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Կոճերից մեկի մեջ երկաթե միջուկ մտցնել՝ այն ամրացնելով մանեկով: Այդ կոճը միլիամպերմետրի, ռեոստատի և անջատիչի միջոցով միացնել հոսանքի աղբյուրին: Միացնել անջատիչը և մագնիսական սլաքով որոշել հոսանքակիր կոճի մագնիսական բևեռները: Նշել միլիամպերմետրի սլաքի խոտորման ուղղությունը:

2. Ձեռքից անջատել ռեոստատը և անջատիչը, միլիամպերմետրը միացնել կոճին՝ պահպանելով նրանց սեղմակների միացման կարգը:

3. Մագնիսը մտցնել կոճի մեջ՝ միաժամանակ հետևելով միլիամպերմետրի սլաքին:

4. Կրկնել դիտումը՝ մագնիսը կոճից հանելով:

5. Կրկնել դիտումը՝ շրջելով մագնիսը:

6. Նկարել փորձի սխեման և ստուգել, որ Լենցի կանոնը տեղի ունի յուրաքանչյուր դեպքում:

§ 53. Էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը

Մակածման հոսանքի ի հայտ գալը վկայում է այն մասին, որ հաղորդիչ կոնտուրում առաջանում է որոշակի ԷՇՈՒ: Ֆարադեյի փորձերը ցույց տվեցին, որ մակածման հոսանքը, հետևաբար՝ նաև մակածման ԷՇՈՒ-ն, առաջանում է միայն այն դեպքում, երբ փակ կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթով անցնող ինդուկցիայի գծերի թիվը փոփոխվում է: Բայց որևէ մակերևույթով անցնող ինդուկցիայի գծերի թիվը համեմատական է այդ մակերևույթով մագնիսական հոսքին, ուստի կարելի է եզրակացնել, որ էլեկտրամագնիսական մակածման ԷՇՈՒ-ի ծագման պատճառը մագնիսական հոսքի փոփոխությունն է:

Փորձերից հետևում է, որ որքան արագ է փոփոխվում մագնիսական հոսքը, այնքան մեծ է կոնտուրում մակածված ԷՇՈՒ-ն, այսինքն՝ մակածման ԷՇՈՒ-ի մոդուլն ուղիղ համեմատական է հոսքի փոփոխության արագության $|\Delta\Phi/\Delta t|$ մոդուլին.

$$|\mathscr{E}| \sim \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|; \qquad (5.3)$$

Ներմուծելով համեմատականության գործակից՝ այս կախումը կարող ենք արտահայտել հետևյալ հավասարումով.

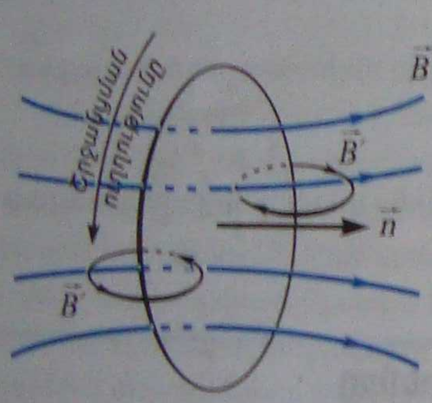
$$|\mathscr{E}| = k\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|; \qquad (5.4)$$

Միավորների ՄՀ-ում համեմատականության գործակիցը՝ $k = 1$, ուստի (5.4) հավասարումն ընդունում է հետևյալ տեսքը՝

$$|\mathscr{E}| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|; \qquad (5.5)$$

(5.5) բանաձևի հիման վրա կարելի է տալ մագնիսական հոսքի միավորի՝ վեբերի (1 Վբ) ևս մի սահմանում՝ ***փակ կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթով մագնիսական հոսքը հավասար է 1Վբ-ի, եթե 1 վ-ում այդ հոսքի՝ մինչև զրո հավասարաչափ նվազման դեպքում կոնտուրում ծագում է 1Վ մակածման ԷլՇՈՒ:***

(5.5) բանաձևը թույլ է տալիս որոշել էլեկտրամագնիսական մակածման ԷլՇՈՒ-ի մոդուլը: Այն ներկայացնենք այնպիսի տեսքով, որ արտահայտի նաև մակածման հոսանքի ուղղությունը (կամ մակածման ԷլՇՈՒ-ի նշանը): Դրա համար անհրաժեշտ է նախ ընտրել փակ կոնտուրի շրջանցման դրական ուղղություն: Այդ ուղղությունը կարելի է կապել կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթի նորմալի հետ (նկ. 102): Որպես կոնտուրի շրջանցման դրական ուղղություն ընդունվում է խցանահանի բռնակի պտտման ուղղությունը, երբ խցանահանի սայրը համընթաց շարժվում է մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ: Եթե մակածման հոսանքի ուղղությունը համընկնում է կոնտուրի շրջանցման դրական ուղղության հետ, ապա հոսանքի ուժը, ինչպես նաև մակածման ԷլՇՈՒ-ն, համարվում է դրական, հակառակ դեպքում՝ բացասական:



Նկ. 102

Դիցուք՝ մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորն ուղղված է կոնտուրով սահմանափակված մակերևույթի նորմալի երկայնքով և ժամանակի ընթացքում աճում է: Այդ դեպքում մագնիսական հոսքի փոփոխման արագությունը՝ $\Delta\Phi/\Delta t > 0$: Եթե Լենցի կանոնի օգնությամբ որոշենք մակածման հոսանքի ուղղությունը, ապա կհամոզվենք, որ այն հակառակ է ուղղված կոնտուրի շրջանցման դրական ուղղությանը, այսինքն՝ մակածման ԷլՇՈՒ-ն ունի բացասական նշան՝ $\mathscr{E} < 0$: Ուստի (5.5) բանաձևում $\Delta\Phi/\Delta t$ արտահայտությունից առաջ պետք է դրվի «մինուս» նշան: Երբ դաշտը նվազում է, ապա $\Delta\Phi/\Delta t < 0$: Լենցի կանոնով որոշելով մակածման հոսանքի ուղղությունը՝ համոզվում ենք, որ այս դեպքում $\mathscr{E} > 0$: Հետևաբար՝ դարձյալ (5.5) բանաձևում $\Delta\Phi/\Delta t$ արտահայտության առջև պետք է դրվի «մինուս» նշան: Այսպիսով, բոլոր դեպքերում՝

$$\boxed{\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}}; \qquad (5.6)$$

Էլեկտրամագնիսական մակածման ԷլՇՈՒ-ն փակ կոնտուրում հավասար է այդ կոնտուրով մագնիսական հոսքի փոփոխության արագությանը՝ վերցրած հակառակ նշանով:

Այս տեսքով էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքն առաջին անգամ ձևակերպել է Մաքսվելը 1855 թ.:

Գործնականում, որպես կանոն, մակածման հոսանք ստանում են ոչ թե մեկ փակ կոնտուրում, այլ մեծ թվով գալարներ պարունակող փաթույթում (կոճում): Այդ դեպքում մակածման ԷլՇՈՒ-ն մեծանում է N անգամ, որտեղ N-ը փաթույթի գալարների թիվն է՝

$$\mathscr{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}: \qquad (5.7)$$

Էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը (5.6) տեսքով կարելի է օգտագործել միայն այն դեպքում, երբ մագնիսական հոսքի փոփոխման $\Delta\Phi/\Delta t$ արագությունը հաստատուն մեծություն է, այսինքն՝ մագնիսական հոսքը փոխվում է հավասարաչափ: Հակառակ դեպքում մակածման ԷլՇՈՒ-ն ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է, և (5.6) բանաձևով կարելի է որոշել միայն ԷլՇՈՒ-ի միջին արժեքը Δt ժամանակամիջոցում: ԷլՇՈՒ-ի ակնթարթային արժեքը (նրա արժեքը ժամանակի տվյալ պահին) որոշելու համար պետք է Δt ժամանակամիջոցը ձգտեցնել զրոյի: Այդ դեպքում, ինչպես հայտնի է մաթեմատիկայից, $\Delta\Phi/\Delta t$ հարաբերությունը կձգտի մագնիսական հոսքի՝ ըստ ժամանակի $\Phi'(t)$ ածանցյալին: Հետևաբար, ընդհանուր դեպքում՝

$$\boxed{\mathscr{E} = -\Phi'(t)}: \qquad (5.8)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

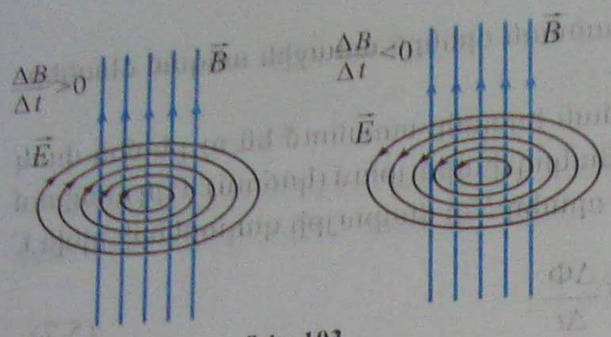
1. *Ձևակերպե՛ք էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը:*
2. *Գրե՛ք փակ կոնտուրում մակածված ԷլՇՈՒ-ի և նրանով մագնիսական հոսքի փոփոխման արագության կապի բանաձևը:*
3. *Բացատրե՛ք, թե ինչու է էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքի բանաձևում դրված «մինուս» նշանը:*
4. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում մագնիսական հոսքը միավորների ՄՀ-ում:*
5. *Ապացուցե՛ք, որ $1\ Տլ\cdot մ^2 = 1\ Վ\cdot վ$:*
6. *Ո՞ր դեպքում էլեկտրամագնիսական մակածման ԷլՇՈՒ-ն չի փոխվում:*
7. *Գրե՛ք N գալար պարունակող կոճում մակածված ԷլՇՈՒ-ի բանաձևը:*

§ 54. Մրրկային էլեկտրական դաշտ

Այժմ պարզենք, թե ինչի շնորհիվ է փոփոխական մագնիսական դաշտում դադարի վիճակում գտնվող փակ հաղորդիչ կոնտուրում առաջանում մակածման հոսանք, ինչ ուժեր են ազատ լիցքակիրներին ստիպում շարժվել հաղորդչում:

Այդ ուժերը չեն կարող լինել մագնիսական բնույթի, քանի որ մագնիսական դաշտն ազդում է միայն շարժվող լիցքերի վրա, մինչդեռ հաղորդիչը նրա մեջ գտնվող լիցքերի հետ մեկտեղ անշարժ է*: Վերլուծելով Ֆարադեյի փորձերը՝ Մաքսվելն առաջ քաշեց հետևյալ ժամանակի համար համարձակ ենթադրությունը, որի համաձայն՝ ***փոփոխական մագ-***

* Իրականում հաղորդչում լիցքերը կատարում են քաոսային շարժում, սակայն նրանց միջին արագությունը, հետևաբար՝ նաև մագնիսական դաշտի կողմից նրանց վրա ազդող միջին ուժը հավասար է զրոյի:



Նկ. 103

նիսական դաշտը ստեղծում է էլեկտրական դաշտ, որն էլ շարժման մեջ է դնում լիցքերը: Այս վարկածի և այլ փորձնական փաստերի (Կուլոնի օրենք, Ֆարադեյի օրենք և այլն) հիման վրա նա ստեղծեց էլեկտրամագնիսական դաշտի տեսությունը, որը հետագայում հաստատվեց բազմաթիվ փորձերով: Այդ տեսության համաձայն՝ փոփոխական մագնիսական դաշտը միշտ ծնում է էլեկտրական դաշտ, ընդ որում, որքան արագ է փոփոխվում մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորը, այնքան մեծ է էլեկտրական դաշտի լարվածությունը: Ի տարբերություն էլեկտրաստատիկ դաշտի՝ այդ դաշտն անմիջականորեն կապված չէ էլեկտրական լիցքերի հետ, որի պատճառով նրա ուժագծերը չունեն ո՛չ սկիզբ և ո՛չ էլ վերջ: Դրանք փակ գծեր են, որոնք շրջապատում են մագնիսական ինդուկցիայի գծերը: Փակ ուժագծերով դաշտը, ինչպես գիտենք, կոչվում է մրրկային: Հետևաբար՝ ***փոփոխական մագնիսական դաշտի ստեղծած էլեկտրական դաշտը մրրկային է***: Այդպիսի դաշտի ուժագծերի տեսքը մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի աճի ($\Delta B/\Delta t > 0$) և նվազման ($\Delta B/\Delta t < 0$) դեպքում պատկերված է նկ. 103-ում:

Ի տարբերություն էլեկտրաստատիկ դաշտի՝ մրրկային էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքը փակ հետագծի վրա հավասար չէ զրոյի: Երբ լիցքը տեղափոխվում է լարվածության փակ ուժագծի երկայնքով, դաշտի կատարած աշխատանքը հետագծի բոլոր տեղամասերում ունի միևնույն նշանը, քանի որ արագության և ուժի ուղղությունները համընկնում են:

Մրրկային էլեկտրական դաշտի գաղափարը թույլ է տալիս էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը մեկնաբանել առավել հիմնարար եղանակով: Այդ երևույթի էությունն այն է, որ ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտը միշտ ստեղծում է մրրկային էլեկտրական դաշտ՝ անկախ այն հանգամանքից՝ այդ դաշտում առկա՞ է արդյոք որևէ հաղորդիչ, թե՞ ոչ: Հաղորդիչը միայն այդ դաշտը հայտնաբերելու միջոց է: Դաշտը շարժման մեջ է դնում փակ շղթայի մաս կազմող հաղորդչում առկա ազատ լիցքակիրները՝ առաջացնելով մակածման հոսանք: Մակածման ԷլՇՈՒ-ն պայմանավորված է մրրկային դաշտի կատարած աշխատանքով: ***Միավոր դրական լիցքը փակ անշարժ կոնտուրով տեղափոխելիս մրրկային էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքն իրենից ներկայացնում է մակածման ԷլՇՈՒ-ն:***

Եթե հաղորդիչը փակ կոնտուր չի կազմում, ապա մրրկային էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ նրանում տեղի է ունենում լիցքի վերաբաշխում, որի արդյունքում հաղորդչի ծայրերի միջև առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն:

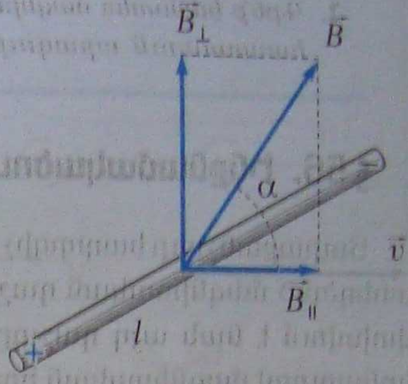
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ ուժեր են լիցքերին ստիպում շարժվել հաղորդչում մակածման հոսանք առաջանալիս:*
2. *Ո՞ր դաշտն են անվանում մրրկային:*
3. *Ո՞րն է մրրկային և էլեկտրաստատիկ դաշտերի տարբերությունը:*

§ 55. Մականման ԷլՇՈՒ-ն շարժվող հաղորդչում

Գոյություն ունի մագնիսական դաշտում ԷլՇՈՒ-ի առաջացման երկու մեխանիզմ: Երբ հաղորդիչն անշարժ վիճակում գտնվում է ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտում, նրանում ԷլՇՈՒ-ի առաջացման պատճառը մրրկային էլեկտրական դաշտի ի հայտ գալն է:

ԷլՇՈՒ կարող է առաջանալ նաև այն դեպքում, երբ հաղորդիչը շարժվում է ժամանակի ընթացքում անփոփոխ մագնիսական դաշտում: Այս դեպքում ԷլՇՈՒ-ի առաջացման պատճառը հաղորդչում գտնվող ազատ լիցքերի վրա մագնիսական դաշտի կողմից ազդող Լորենցի ուժն է:



Նկ. 104

Ենթադրենք՝ քե l երկարությամբ ուղիղ հաղորդիչը (հաղորդալարը) $\vec{v}$ արագությամբ շարժվում է ժամանակի ընթացքում անփոփոխ $\vec{B}$ մագնիսական ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում (նկ. 104): Դիցուք՝ մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորն ուղղահայաց է հաղորդչին և նրա $\vec{v}$ արագության հետ α անկյուն է կազմում:

Հաղորդիչը շարժվելիս շարժվում են նաև նրա ներսում գտնվող ազատ էլեկտրոնները: Էլեկտրոնների անկանոն շարժման արագությանը գումարվում է հաղորդչի շարժման $\vec{v}$ արագությունը: Քանի որ այդ շարժումը տեղի է ունենում մագնիսական դաշտում, ապա յուրաքանչյուր էլեկտրոնի վրա ազդում է լրացուցիչ Լորենցի ուժ, որի ուղղությունը կարելի է որոշել ձախ ձեռքի կանոնով: Այդ ուժն էլեկտրոններին ստիպում է շարժվել հաղորդչի երկայնքով: Հաղորդչի այն ծայրում, որտեղ նրանք հավաքվում են, առաջանում է հավելուրդային բացասական լիցք, իսկ հակադիր ծայրում առաջանում է էլեկտրոնների պակասորդ, որի հետևանքով այն լիցքավորվում է դրական լիցքով: Լիցքերի նման վերաբաշխման արդյունքում հաղորդչի ծայրերի միջև առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն, իսկ ներսում՝ էլեկտրական դաշտ: Այդ դաշտը, ազդելով էլեկտրոնների վրա, խոչընդոտում է նրանց շարժմանը: Քանի դեռ էլեկտրական ուժերը փոքր են, էլեկտրոնները շարունակում են վերաբաշխվել, և էլեկտրական դաշտի լարվածությունը մեծանում է: Հաղորդչի ծայրերի միջև պոտենցիալների որոշակի տարբերության դեպքում, երբ էլեկտրական դաշտի կողմից էլեկտրոնի վրա ազդող ուժը հավասարակշռվում է Լորենցի ուժով, էլեկտրոնների վերաբաշխումը դադարում է: Գրելով էլեկտրոնի վրա էլեկտրական դաշտի կողմից ազդող ուժի մոդուլի՝ $F_E = eE$ և մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ուժի մոդուլի՝ $F_L = eBv\sin\alpha$ արտահայտությունները և օգտվելով $F_E = F_L$ հավասարակշռության պայմանից, կարող ենք գտնել էլեկտրական դաշտի լարվածության մոդուլը հաղորդչի ներսում՝

$$E = vB\sin\alpha : \qquad (5.9)$$

Հաղորդչի ծայրերի միջև պոտենցիալների տարբերությունը (մականված ԷլՇՈՒ-ն)՝ $\mathcal{E} = lE$ կամ

$$\boxed{\mathcal{E} = Bvl\sin\alpha} ; \qquad (5.10)$$

Մագնիսական դաշտում շարժվող հաղորդչում մակածված ԷՇՈՒ-ն հավասար է հաղորդչի երկարության, շարժման արագության, մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի և արագության ու մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորների կազմած անկյան սինուսի արտադրյալին:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Նկարագրե՛ք համասեռ մագնիսական դաշտում շարժվող հաղորդչում ԷՇՈՒ-ի առաջացման մեխանիզմը:*
2. *Գրե՛ք համասեռ մագնիսական դաշտում հաստատուն արագությամբ շարժվող հաղորդչում մակածված ԷՇՈՒ-ի բանաձևը:*
3. *Ո՞ր դեպքում համասեռ մագնիսական դաշտում շարժվող հաղորդչում ԷՇՈՒ չի մակածվում:*

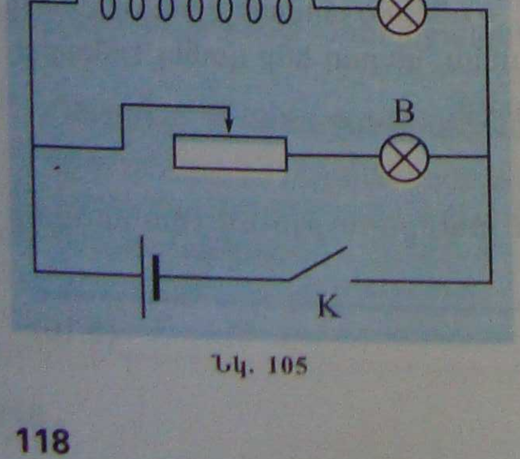
§ 56. Ինքնամակածում

Յուրաքանչյուր հաղորդիչ կոնտուր, որով հոսանք է անցնում, գտնվում է այդ հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտում: Երբ կոնտուրում հոսանքի ուժը փոփոխվում է, փոփոխվում է նաև այդ դաշտը: Մագնիսական դաշտի փոփոխությունը հանգեցնում է կոնտուրով մագնիսական հոսքի փոփոխության, ինչը կոնտուրում ծնում է մակածման ԷՇՈՒ:

Այն երևույթը, երբ կոնտուրով անցնող փոփոխվող հոսանքն այդ նույն կոնտուրում ստեղծում է մակածման ԷՇՈՒ, կոչվում է ինքնամակածում, իսկ առաջացած ԷՇՈՒ-ն՝ ինքնամակածման ԷՇՈՒ:

Ինքնամակածման երևույթը փորձնական ճանապարհով հայտնագործել է ամերիկացի գիտնական Ջ.Հենրին: Ինքնամակածման երևույթն էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի մասնավոր դեպքն է: Ինքնամակածման ԷՇՈՒ-ի առաջացման պատճառը ևս մագնիսական դաշտի փոփոխման հետևանքով առաջացած մրրկային էլեկտրական դաշտն է: Միայն այս դեպքում այն առաջանում է ոչ թե արտաքին, այլ սեփական մագնիսական դաշտի փոփոխության պատճառով:

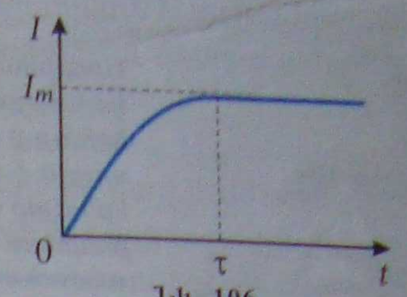
Ինքնամակածման երևույթը կարելի է ցուցադրել հետևյալ փորձերով: Դիտարկենք նկ. 105-ում պատկերված շղթան: Հոսանքի աղբյուրին զուգահեռաբար միացված են A և B միատեսակ շիկացման լամպերը: A լամպին հաջորդաբար միացված է L կոճը, իսկ B լամպին՝ ռեոստատը, որի դիմադրությունը նախապես հավասարեցվում է կոճի դիմադրությանը: Եթե K բանալին փակենք, ապա B լամպը կլուսարձակի գրեթե ակնթարթորեն, իսկ A լամպի թելիկը կսկսի շիկանալ աստիճանաբար, և միայն որոշ τ ժամանակ անց նրա պայծառությունը կհասնի առավելագույն արժեքի (նկ. 106):



Նկ. 105

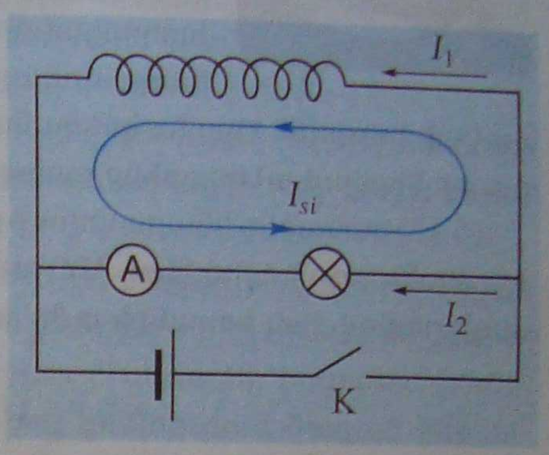
Դիտվող երևույթը բացատրվում է հետևյալ կերպ: Բանալին փակելիս հոսանքի ուժը յուրաքանչյուր լամպում զրո արժեքից պետք է աճի և ընդունի իր առավելագույն արժեքը: B լամպում դա տեղի է ունենում շատ արագ, գրեթե ակնթարթորեն: Իսկ A լամպի ճյուղում միացված կոճում

առաջացած ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ն, Լենցի կանոնի համաձայն, խոչընդոտում է A լամպում հոսանքի ուժի աճմանը: Ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ն յուրահատուկ արգելակ է հոսանքի ուժի աճման համար, որը գործում է այնքան ժամանակ, քանի դեռ հոսանքի ուժը չի հասել իր առավելագույն արժեքին:



Նկ. 106

Ինքնամակածման երևույթը կարող է դիտվել նաև շղթան անջատելիս: Նկ. 107-ում պատկերված շղթայում, երբ K բանալին փակ է, ընդհանուր հոսանքի մի մասը (I_1) անցնում է կոճի միջով, իսկ մյուս մասը (I_2)՝ լամպով և ամպերմետրով: Բանալին բացելիս I_1 հոսանքը սկսում է նվազել: Դրա հետևանքով կոճում առաջանում է ինքնամակածման հոսանք՝ I_{si} (անգլերեն «self-induction»՝ «ինքնամակածում» բառերի հապավումն է), որը, ունենալով սկզբնական I_1 հոսանքի ուղղությունը, ձգտում է պահպանել այն: Քանի որ հոսանքի աղբյուրն անջատված է շղթայից, ապա ինքնամակածման հոսանքն ամբողջությամբ անցնում է լամպի միջով (նկ. 107-ում նրա ուղղությունը պատկերված է կորի վրա դրված սլաքներով): Այդ հոսանքը որոշ դեպքերում կարող է էապես գերազանցել սկզբնական I_2 հոսանքը, որի շնորհիվ լամպում կդիտվի կարճատև պայծառ լուսարձակում:



Նկ. 107

Այժմ պարզենք, թե ինչից է կախված ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ն: Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի B մոդուլը դաշտի կանկացած կետում համեմատական է այդ դաշտն առաջացնող I հոսանքի ուժին՝ $B \sim I$: Քանի որ մագնիսական հոսքը համեմատական է B-ին, ապա կարող ենք հաստատել, որ $\Phi \sim B \sim I$: Այսպիսով, եթե հաղորդիչ կոնտուրով անցնող հոսանքի ուժը I է, ապա նրա ստեղծած մագնիսական հոսքն այդ կոնտուրով ուղիղ համեմատական է անցնող հոսանքի ուժին՝

$$\Phi = LI: \qquad (5.11)$$

L համեմատականության գործակիցը կոչվում է կոնտուրի (հաղորդչի) ***ինդուկտիվություն***: Տվյալ կոնտուրի համար այն հաստատուն մեծություն է, հետևաբար՝ նրանով մագնիսական հոսքը կարող է փոփոխվել միայն հոսանքի ուժը փոփոխելիս: Ուստի $\Delta\Phi = L\Delta I$: Տեղադրելով այս արտահայտությունը էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքի (5.6) բանաձևի մեջ՝ $\mathscr{E}_{si}$ ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ի համար կստանանք՝

$$\boxed{\mathscr{E}_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}} : \qquad (5.12)$$

(5.12) բանաձևից հետևում է, որ ***ինդուկտիվությունը թվապես հավասար է ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ին, որը ծագում է կոնտուրում, երբ հոսանքի ուժը նրանում 1 վ-ում հավասարաչափ նվազում է 1 Ա-ով:***

Փորձը ցույց է տալիս, որ ինդուկտիվությունը կախված է հաղորդչի ձևից, չափերից և այն միջավայրի մագնիսական հատկություններից, որտեղ այն գտնվում է: Ուղիղ

Հենրի Ջոզեֆ (1797–1878)

Ամերիկացի ֆիզիկոս. աշխատանքները ընդհված են էլեկտրամագնիսականության: 1831 թ. հայտնաբերել է էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը (Ֆարադեյն առաջինն է հրապարակել իր արդյունքները): Կոռոցել է առաջին էլեկտրաշարժիչը, հայտնաբերել է ինքնամակածման երևույթը (1832 թ.) և էքստրահոսանքները, պարզել կոնդենսատորի լիցքաթափման տատանողական բնույթը:

հաղորդալարի ինդուկտիվությունը շատ փոքր է: Եթե այդ նույն հաղորդալարից պատրաստենք փաթույթ (կոճ), ապա նրա ինդուկտիվությունն էապես կմեծանա: Ինդուկտիվությունն էլ ավելի կմեծանա, եթե փաթույթի ներսում տեղադրենք պողպատե միջուկ:

(5.12) բանաձևը հնարավորություն է տալիս սահմանելու ինդուկտիվության միավորը: Քանի որ միավորների ՄՀ-ում ԷլՇՈՒ-ն արտահայտվում է վոլտով, ժամանակը՝ վայրկյանով, իսկ հոսանքի ուժը՝ ամպերով, ապա ինդուկտիվության միավորը՝

$$[L]=\frac{[\mathcal{E}_i][\Delta t]}{[\Delta I]}=1\frac{\text{Վ}\cdot\text{վ}}{\text{Ա}}. \qquad (5.13)$$

Այս միավորը, ի պատիվ ամերիկացի ֆիզիկոս Ջ.Հենրիի, կոչվում է հենրի (1Հն): ***1 Հն-ն այն կոնտուրի ինդուկտիվությունն է, որում ծագում է 1Վ ինքնամակածման ԷլՇՈՒ, երբ նրանում հոսանքի ուժը 1վ-ում հավասարաչափ ճվազում է 1Ա-ով:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում ինքնամակածում:*
2. *Բերե՛ք ինքնամակածման երևույթը լուսաբանող փորձերի օրինակներ:*
3. *Գրե՛ք կոճով անցնող հոսանքի ուժի և այդ հոսանքով ստեղծված մագնիսական հոսքի կապի բանաձևը:*
4. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում ինդուկտիվություն:*
5. *Ի՞նչ միավորով է արտահայտվում ինդուկտիվությունը միավորների ՄՀ-ում:*
6. *Ինչի՞ց է կախված հաղորդչի ինդուկտիվությունը:*
7. *Ինչպե՞ս կարելի է մեծացնել հաղորդչի ինդուկտիվությունը:*
8. *Գրե՛ք ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ի բանաձևը:*

§ 57. Հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիան

Որպեսզի շղթան փակելիս հոսանքի ուժը հասնի իր առավելագույն արժեքին, անհրաժեշտ է որոշակի աշխատանք կատարել: Իրոք, քանի դեռ հոսանքի ուժն աճում է, առաջացած մրրկային էլեկտրական դաշտը, համաձայն Լենցի կանոնի, խոչընդոտում է լիցքերի շարժմանը: Այդ ազդեցությունը հաղթահարելու համար հոսանքի աղբյուրը որոշակի աշխատանք է կատարում: Հենց այդ աշխատանքի շնորհիվ է հաղորդչում ծագում էլեկտրական հոսանք, որն էլ իր շուրջը ստեղծում է մագնիսական դաշտ: Համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի՝ հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի էներգիան հավասար է մրրկային էլեկտրական դաշտի ուժերի դեմ հոսանքի աղբյուրի կատարած աշխատանքին:

Շղթան բացելիս մագնիսական դաշտի էներգիան անջատվում է՝ փոխակերպվելով էներգիայի այլ տեսակների: Օրինակ՝ նախորդ պարագրաֆում նկարագրված փորձում (նկ. 107) շղթան անջատելուց հետո լամպը որոշ ժամանակ շարունակում է լուսարձակել, թեև այն հոսանքի աղբյուրից էներգիա չի ստանում: Այս դեպքում կոճի մագնիսական էներգիան փոխակերպվում է լամպի թելիկի ջերմային էներգիայի:

Իսկ ինչպե՞ս կարելի է հաշվել մագնիսական դաշտի էներգիան: Լենցի կանոնը ցույց է տալիս, որ ինքնամակածման երևույթը համանման է մեխանիկայում իներցիայի երևույթին: Այսպես, իներտության շնորհիվ մարմինը միանգամից չի կարող ծեռք բերել որոշակի արագություն: Որքան էլ որ մեծ լինի մարմնի վրա ազդող ուժը, նրա արագությունը փոփոխելու համար որոշակի ժամանակ է պահանջվում:

Նիշտ այդպես էլ շղթան փակելիս ինքնամակածման երևույթի շնորհիվ հոսանքի ուժը չի կարող միանգամից ընդունել իր առավելագույն արժեքը, իսկ անջատելիս՝ անմիջապես հավասարվել զրոյի:

Նշված համանմանությունն ի հայտ է գալիս նույն այդ երևույթները նկարագրող մաթեմատիկական հավասարումներում: Իրոք, ուժի ազդեցությամբ մարմնի արագության փոփոխությունը նկարագրող հավասարումը (Նյուտոնի երկրորդ օրենք) համեմատելով հոսանքի փոփոխության հետևանքով կոնտուրում ծագած ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ի արտահայտության հետ՝

$$F = m\left|\frac{\Delta v}{\Delta t}\right|, \quad \mathscr{E}_{si} = L\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|, \tag{5.14}$$

նկատում ենք, որ մաթեմատիկական տեսանկյունից այդ երկու հավասարումները համարժեք են: Պարզապես ինքնամակածման դեպքում m զանգվածի դերը կատարում է կոնտուրի L ինդուկտիվությունը, իսկ v արագության դերը՝ I հոսանքի ուժը՝

$$m \leftrightarrow L, \quad v \leftrightarrow I: \tag{5.15}$$

Այս համանմանությունը թույլ է տալիս գրել մագնիսական դաշտի $W_{մագ}$ էներգիայի բանաձևը: Այն պետք է նման լինի մարմնի կինետիկ էներգիայի $E = mv^2/2$ բանաձևին: Վերջինիս մեջ m-ը փոխարինելով L-ով, v-ն՝ I-ով, իսկ E-ն՝ $W_{մագ}$-ով, կստանանք՝

$$\boxed{W_{մագ} = \frac{LI^2}{2}}: \tag{5.16}$$

Հաշվումների միջոցով հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիայի համար ստացվում է հենց այս արտահայտությունը: Դժվար չէ նկատել, որ (5.16) բանաձևը հիշեցնում է կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիայի $W_{էլ} = CU^2/2$ բանաձևը: Հոսանքի ուժի տրված արժեքի դեպքում որքան մեծ է կոճի ինդուկտիվությունը, այնքան մեծ է նրա մագնիսական դաշտի էներգիան: Նմանապես, լարման որոշակի արժեքի դեպքում որքան մեծ է կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը, այնքան մեծ է նրա էլեկտրական դաշտի էներգիան: Կոճը և կոնդենսատորը համապատասխանաբար մագնիսական և էլեկտրական էներգիաների կուտակիչներ են, իսկ ինդուկտիվությունը և էլեկտրաունակությունը՝ կոճի և կոնդենսատորի՝ էներգիա կրելու հատկության քանակական բնութագրիչները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչու՞ հոսանք ստեղծելու համար հոսանքի աղբյուրը պետք է որոշակի աշխատանք կատարի:*
2. *Ինքնամակածման երևույթը մեխանիկական ո՞ր երևույթին է համանմանեցնում:*
3. *Գրե՛ք հոսանքակիր կոնտուրի մագնիսական դաշտի էներգիայի բանաձևը:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Հաղորդալարի քանի՞ գալար պետք է պարունակի $S = 0{,}005\,մ^2$ լայնական հատույթի մակերեսով կոճը, որպեսզի նրանում մագնիսական ինդուկցիան $\Delta t = 0{,}005$վ-ի ընթացքում $B_1 = 1{,}1\,Տլ$-ից մինչև $B_2 = 0{,}1\,Տլ$ փոխվելիս ծագի $\mathcal{E} = 100$Վ մակածման ԷՇՈՒ:*

Լուծում: Գալարներով անցնող մագնիսական հոսքի փոփոխությունը պայմանավորված է մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլի փոփոխությամբ. $\Delta\Phi = \Delta BS = (B_2 - B_1)S$: Համաձայն էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքի՝

$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N\frac{(B_1 - B_2)S}{\Delta t},$$

որտեղից գալարների թիվը՝

$$N = \frac{\mathcal{E}\Delta t}{(B_1 - B_2)S} = 100:$$

2. *3 Օմ դիմադրությամբ կոնտուրով շրջափակված մակերևույթով անցնող մագնիսական հոսքն ինչ-որ ժամանակամիջոցում հավասարաչափ փոքրացավ $\Phi_1 = 5\cdot10^{-3}$Վբ-ից մինչև $\Phi_2 = 2\cdot10^{-3}$Վբ: Ի՞նչ քանակությամբ լիցք անցավ այդ ժամանակամիջոցում կոնտուրի հաղորդչի լայնական հատույթով:*

Լուծում: Քանի որ հոսքի փոփոխությունը՝ $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, ապա կոնտուրում մակածված ԷՇՈՒ-ն՝

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t}:$$

Հոսանքի ուժը կոնտուրում կորոշվի

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R\Delta t}$$

բանաձևով: Քանի որ $I = \Delta q/\Delta t$, ապա Δt ժամանակամիջոցում հաղորդչի լայնական հատույթով անցած լիցքը՝

$$\Delta q = I\Delta t = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R} = 0{,}001\,Կլ:$$

Խնդիրներ

1. *Հաղորդալարի 500 գալար ունեցող կոճի լայնական հատույթով մագնիսական հոսքը 0,005 վ-ի ընթացքում հավասարաչափ նվազում է 0,007Վբ-ից մինչև 0,003 Վբ: Գտնել կոճում մակածված էլՇՈՒ-ն:*

2. *Հաղորդիչ կոնտուրում մագնիսական հոսքը 0,05 վ-ի ընթացքում հավասարաչափ նվազում է 0,08 Վբ-ով: Որոշել մակածման հոսանքի ուժը, եթե կոնտուրի դիմադրությունը 0,2 Օմ է:*

3. *Լայնական հատույթի $1,72 \cdot 10^{-6}$ մ^2 մակերես ունեցող պղնձե հաղորդալարից պատրաստված է 0,1 մ շառավղով օղակ: Օղակը տեղադրված է համասեռ մագնիսական դաշտում այնպես, որ նրա մակերևույթն ուղղահայաց է մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորին: Գտնել օղակում մակածման հոսանքի ուժը, եթե մագնիսական դաշտի ինդուկցիան փոփոխվում է 1Տլ/վ արագությամբ:*

4. *0,2 մ շառավղով հաղորդիչ օղակը, որի դիմադրությունը 40 Օմ է, տեղադրված է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորին ուղղահայաց հարթության մեջ: Ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլը փոխվում է $B = 10t$ (Տլ) օրենքով: Որոշել մակածման հոսանքի ուժը:*

5. *Ճկուն հաղորդալարից պատրաստված է 0,1 մ կողմով քառակուսի, որի դիմադրությունը 10^5 Օմ է: Շրջանակը տեղադրված է 5 Տլ ինդուկցիայով համասեռ մագնիսական դաշտում այնպես, որ շրջանակի հարթությունն ուղղահայաց է մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորին: Ի՞նչ քանակությամբ լիցք կհոսի շրջանակով, եթե վերջինս, թողնելով հարթության մեջ, դարձնենք հավասարակողմ եռանկյուն:*

6. *Որոշել հորիզոնական ուղղությամբ 900 կմ/ժ արագությամբ թռչող ինքնաթիռի թևերի ծայրերի միջև առաջացած պոտենցիալների տարբերությունը, եթե Երկրի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի ուղղաձիգ բաղադրիչը հավասար է $5 \cdot 10^{-5}$ Տլ, իսկ թևերի բացվածքը՝ 30 մ:*

7. *Ռեոստատի օգնությամբ կոճում հոսանքի ուժը մեծացնում են 2 Ա/վ արագությամբ: Կոճի ինդուկտիվությունը $2 \cdot 10^{-4}$ Հն է: Ինչի՞ է հավասար ինքնամակածման էլՇՈՒ-ի մոդուլը:*

8. *Գտնել կոճի մագնիսական դաշտի էներգիան, եթե նրանով անցնող հոսանքի ուժը 10 Ա է, իսկ մագնիսական հոսքը՝ 0,5 Վբ:*

ԳԼՈՒԽ 5-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը ցույց է տալիս էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի կապը: Այդ երևույթի էությունն այն է, որ ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտը ծնում է մրրկային էլեկտրական դաշտ:
2. Մրրկային էլեկտրական դաշտի ուժագծերը փակ են: Փակ կոնտուրով լիցքի տեղափոխման ժամանակ մրրկային էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքը հավասար չէ զրոյի:
3. Եթե հաղորդիչը գտնվում է ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտում, ապա մրրկային էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքի շնորհիվ նրանում մակածվում է էլՇՈՒ: Համաձայն էլեկտրամագնիսական մակածման

օրենքի՝ փակ կոնտուրում մակածված ԷլՇՈՒ-ն հավասար է այդ կոնտուրով մագնիսական հոսքի փոփոխման արագությանը՝ վերցրած հակառակ նշանով՝

$$\mathscr{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t};$$

4. Համաձայն Լենցի կանոնի՝ փակ կոնտուրում մակածված հոսանքն իր մագնիսական դաշտով հակազդում է այդ հոսանքը ստեղծող մագնիսական հոսքի փոփոխմանը:

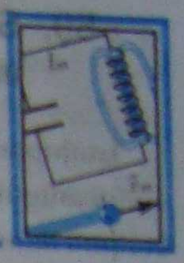
5. Էլեկտրամագնիսական մակածման մասնավոր դեպք է ինքնամակածման երևույթը, երբ փոփոխվող մագնիսական դաշտն ԷլՇՈՒ է մակածում այն հաղորդիչ կոնտուրում, որով անցնում է այդ դաշտը ստեղծող հոսանքը: Ինքնամակածման ԷլՇՈՒ-ն ուղիղ համեմատական է հոսանքի ուժի փոփոխման արագությանը՝

$$\mathscr{E}_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t};$$

6. L համեմատականության գործակիցը կոչվում է ինդուկտիվություն: Ինդուկտիվությունը բնութագրում է հոսանքակիր կոնտուրի և այն շրջապատող միջավայրի՝ մագնիսական դաշտ կուտակելու հատկությունը: Ինդուկտիվությունը կախված է հաղորդիչ կոնտուրի ձևից, չափերից և միջավայրի մագնիսական հատկություններից:

7. Մագնիսական դաշտն օժտված է էներգիայով: Հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի էներգիան որոշվում է $W_{մագ} = \frac{LI^2}{2}$ բանաձևով:

6 ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ԱԼԻՔՆԵՐ



§ 58. Էլեկտրամագնիսական տատանումներ

Ընդհանրապես, *տատանումներ կոչվում են որևէ համակարգի վիճակի այնպիսի փոփոխությունները, որոնք ժամանակի ընթացքում պարբերաբար կամ գրեթե պարբերաբար կրկնվում են:*

9-րդ դասարանի ֆիզիկայի դասընթացում դուք ծանոթացել եք մեխանիկական տատանումներին, մանրամասն քննարկել մաթեմատիկական ճոճանակի և զսպանակին ամրացված բեռի ազատ տատանումները: Ձեզ նաև հայտնի է, որ շփման (դիմադրության) ուժերի բացակայության դեպքում այդ համակարգերում կարող են առաջանալ ներդաշնակ տատանումներ:

Այս գլխում կուսումնասիրենք էլեկտրամագնիսական տատանումները: *Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, լիցքի, հոսանքի ուժի, լարման պարբերական կամ գրեթե պարբերական փոփոխությունները կոչվում են էլեկտրամագնիսական տատանումներ:*

Էլեկտրամագնիսական տատանումները հատուկ տեղ են գրավում էլեկտրամագնիսական երևույթների շարքում: Դրանք օգտագործվում են տարբեր ասպարեզներում և ունեն տեխնիկական լայն կիրառություններ (հեռախոսակապ, հեռագրակապ, ռադիո, հեռուստատեսություն, էլեկտրոնային փոստ, տեղեկատվական ցանցեր և այլն): Կենցաղում և տեխնիկայում օգտագործվող փոփոխական հոսանքները նույնպես էլեկտրամագնիսական տատանումներ են: Վերջապես նշենք, որ լուսային երևույթները ևս պայմանավորված են էլեկտրամագնիսական տատանումներով:

Չնայած մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական համակարգերի միջև առկա էական տարբերություններին՝ երանց տատանումների միջև մեծ ընդհանրություն կա: Այդ ընդհանրությունն ակնհայտ է դառնում այն դեպքում, երբ մեզ հետաքրքրում է ոչ թե այն, թե ինչն է տատանվում (մաթեմատիկական ճոճանա՞կը, թե՞ էլեկտրական հոսանքը չղթայում), այլ այն, թե ինչպես է տատանվում: Այդ դեպքում պարզվում է, որ, անկախ տատանումների ֆիզիկական բնույթից, դրանք կարող են նկարագրվել միատեսակ մաթեմատիկական հավասարումներով, իսկ տատանվող ֆիզիկական մեծությունների ժամանակային կախումները՝ միևնույն ֆունկցիաներով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվեք տատանողական շարժման սահմանումը:*
2. *Ո՞ր տատանումներն են անվանում էլեկտրամագնիսական:*
3. *Ի՞նչ կիրառություններ ունեն էլեկտրամագնիսական տատանումները:*

§ 59. Տատանումների տեսության մի քանի կարևոր սահմանումներ և առնչություններ

Նախքան էլեկտրամագնիսական տատանումների կոնկրետ օրինակների քննարկմանն անցնելը՝ անդրադառնանք տատանումների ընդհանուր տեսության մի շարք հիմնական հասկացությունների, տերմինների և տատանումները նկարագրող մաթեմատիկական առնչությունների, որոնց հետ դուք արդեն որոշ չափով ծանոթացել եք մեխանիկական տատանումներն ուսումնասիրելիս: Այստեղ դրանք կքննարկենք առավել ընդհանուր տեսքով՝ առայժմ չմասնավորեցնելով կոնկրետ դեպքերի համար:

Հավասարակշռության վիճակից դուրս բերված և ինքն իրեն թողնված համակարգում կատարվող տատանումները կոչվում են ***ազատ*** կամ ***սեփական տատանումներ:***

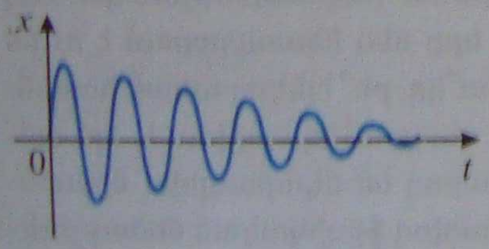
Այն ամենափոքր ժամանակամիջոցը, որից հետո տատանվող համակարգի վիճակը նկարագրող ֆիզիկական մեծության արժեքները կրկնվում են, կոչվում է այդ մեծության ***տատանման պարբերություն:*** Այն նշանակում են T տառով:

Սովորաբար ազատ տատանումները ճշգրիտ պարբերական չեն: Շփման (դիմադրության) ուժերով պայմանավորված կորուստների հետևանքով տատանվող համակարգն աստիճանաբար կորցնում է հավասարակշռության վիճակից դուրս բերելիս նրան հաղորդված էներգիան, ուստի տատանումներն աստիճանաբար մարում են (նկ. 108): Սակայն եթե մարումը շատ դանդաղ է տեղի ունենում, ապա մեծ ճշտությամբ տատանումները կարող ենք համարել պարբերական:

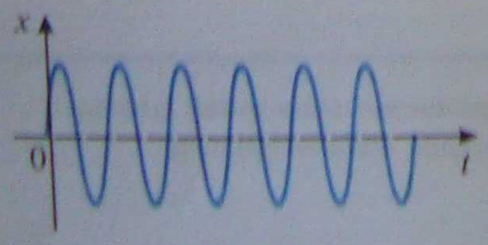
Պարբերական տատանումների ամենապարզ տեսակը ներդաշնակ տատանումներն են (նկ. 109): ***Ներդաշնակ են կոչվում այն տատանումները, որոնց դեպքում համակարգի վիճակը նկարագրող ֆիզիկական մեծությունները ժամանակի ընթացքում փոխվում են սինուսի կամ կոսինուսի օրենքով.***

$$x = x_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right): \qquad (6.1)$$

Մեկ անգամ ևս նշենք, որ բերված բոլոր սահմանումներն ընդհանուր են ու վերաբերում են և՛ մեխանիկական, և՛ էլեկտրամագնիսական տատանումներին: (6.1) բանաձևում x-ն այն մեծությունն է, որի տատանումները դիտարկվում են: Մաթեմատիկական ճոճանակի կամ զսպանակիկ կախված բեռի տատանումների դեպքում դա հավասարակշռության դիրքից դիտարկվող մարմնի շեղումն է ժամանակի t պահին: Էլեկտրամագնիսական տատանումների դեպքում դա կարող է լինել հոսանքի ուժը, էլեկտրական լիցքը, լարումը, ԷլՇՈՒ-ն, էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, մագնիսական դաշտի ինդուկցիան և այլն:



Նկ. 108



Նկ. 109

Տատանվող մեծության առավելագույն x_m արժեքը կոչվում է ***լայնույթ:*** Այն կախված է համակարգի լրիվ էներգիայի արժեքից:

Ներդաշնակ տատանումները նկարագրող սինուս կամ կոսինուս ֆունկցիայի $2\pi t/T + \varphi_0$ արգումենտն անվանում են ***տատանման փուլ***, իսկ φ_0-ն՝ ***սկզբնական փուլ:*** Սկզբնական փուլով որոշվում է տատանվող x մեծության արժեքը ժամանակի սկզբնական՝ $t = 0$ պահին: Եթե ժամանակի հաշվարկման սկիզբն ընտրված է այնպես, որ տատանվող մեծության արժեքը $t = 0$ պահին հավասար է զրոյի, ապա սկզբնական փուլը՝ $\varphi_0 = 0$, և տատանումները նկարագրվում են

$$x = x_m \sin\frac{2\pi}{T}t \qquad (6.2)$$

հավասարումով: Իրոք, (6.2) հավասարման մեջ տեղադրելով $t = 0$, կստանանք՝ $x = 0$: Եթե $t = 0$ պահին տատանվող մեծությունն ընդունում է իր առավելագույն x_m արժեքը, ապա $\varphi_0 = \pi/2$, և տատանումները նկարագրվում են

$$x = x_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{2}\right) = x_m \cos\frac{2\pi}{T}t \qquad (6.3)$$

հավասարումով: Այս դեպքում, երբ $t = 0$, $x = x_m$:

T պարբերության հակադարձ մեծությունը, որը հավասար է մեկ վայրկյանում կատարված տատանումների թվին, կոչվում է տատանման ***հաճախություն***՝

$$\nu = \frac{1}{T}: \qquad (6.4)$$

2π վայրկյանում կատարված տատանումների թիվը կոչվում է տատանման ***շրջանային հաճախություն***՝

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu: \qquad (6.5)$$

Այսպիսով, ներդաշնակ տատանումների հիմնական բնութագրիչներն են՝ տատանման ***լայնույթը, պարբերությունը (հաճախությունը)*** և ***սկզբնական փուլը:***

Ստանանք մեկ կարևոր առնչություն ևս, որը կօգտագործենք հետագայում: Ածանցելով ներդաշնակ տատանումները նկարագրող (6.1) հավասարումը, կստանանք՝ $x'(t) = \omega_0 x_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$: Մեկ անգամ ևս ածանցելով այս արտահայտությունը, կստանանք՝

$$x''(t) = -\omega_0^2 x_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -\omega_0^2 x:$$

Այսպիսով, ստանում ենք, որ ներդաշնակ տատանումները նկարագրվում են

$$x'' + \omega_0^2 x = 0 \qquad (6.6)$$

հավասարումով: Ճիշտ է նաև հակառակ պնդումը. եթե որևէ մեծության փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում նկարագրվում է (6.6) հավասարումով, ապա այն կատարում է ներդաշնակ տատանումներ:

Ներդաշնակ տատանումները նկարագրող սինուս կամ կոսինուս ֆունկցիայի $2\pi t/T+\varphi_0$ արգումենտն անվանում են ***տատանման փուլ***, իսկ φ_0-ն՝ ***սկզբնական փուլ:*** Սկզբնական փուլով որոշվում է տատանվող x մեծության արժեքը ժամանակի սկզբնական՝ $t=0$ պահին: Եթե ժամանակի հաշվարկման սկիզբն ընտրված է այնպես, որ տատանվող մեծության արժեքը $t=0$ պահին հավասար է զրոյի, ապա սկզբնական փուլը՝ $\varphi_0=0$, և տատանումները նկարագրվում են

$$x=x_m \sin\frac{2\pi}{T}t \qquad (6.2)$$

հավասարումով: Իրոք, (6.2) հավասարման մեջ տեղադրելով $t=0$, կստանանք՝ $x=0$: Եթե $t=0$ պահին տատանվող մեծությունն ընդունում է իր առավելագույն x_m արժեքը, ապա $\varphi_0=\pi/2$, և տատանումները նկարագրվում են

$$x=x_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\frac{\pi}{2}\right)=x_m \cos\frac{2\pi}{T}t \qquad (6.3)$$

հավասարումով: Այս դեպքում, երբ $t=0$, $x=x_m$:

T պարբերության հակադարձ մեծությունը, որը հավասար է մեկ վայրկյանում կատարված տատանումների թվին, կոչվում է տատանման ***հաճախություն***՝

$$\nu=\frac{1}{T}: \qquad (6.4)$$

2π վայրկյանում կատարված տատանումների թիվը կոչվում է տատանման ***շրջանային հաճախություն***՝

$$\omega_0=\frac{2\pi}{T}=2\pi\nu: \qquad (6.5)$$

Այսպիսով, ներդաշնակ տատանումների հիմնական բնութագրիչներն են՝ տատանման ***լայնույթը, պարբերությունը (հաճախությունը)*** և ***սկզբնական փուլը:***

Ստանանք մեկ կարևոր առնչություն ևս, որը կօգտագործենք հետագայում: Ածանցելով ներդաշնակ տատանումները նկարագրող (6.1) հավասարումը, կստանանք՝ $x'(t)=\omega_0 x_m \cos(\omega_0 t+\varphi_0)$: Մեկ անգամ ևս ածանցելով այս արտահայտությունը, կստանանք՝

$$x''(t)=-\omega_0^2 x_m \sin(\omega_0 t+\varphi_0)=-\omega_0^2 x:$$

Այսպիսով, ստանում ենք, որ ներդաշնակ տատանումները նկարագրվում են

$$x''+\omega_0^2 x=0 \qquad (6.6)$$

հավասարումով: Ճիշտ է նաև հակառակ պնդումը. եթե որևէ մեծության փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում նկարագրվում է (6.6) հավասարումով, ապա այն կատարում է ներդաշնակ տատանումներ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Տվե՛ք ազատ տատանումների սահմանումը:*
2. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում տատանման պարբերություն:*
3. *Ինչո՞ւ համակարգի ազատ տատանումները սովորաբար մարում են:*
4. *Ո՞ր տատանումներն են կոչվում ներդաշնակ:*
5. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում ներդաշնակ տատանումների լայնույթ:*
6. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում ներդաշնակ տատանումների պարբերություն և որը՝ հաճախություն:*
7. *Գրե՛ք ներդաշնակ տատանումները նկարագրող հավասարումը:*

§ 60. Ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումներ

Պարզագույն համակարգը, որում կարելի է ստանալ էլեկտրամագնիսական տատանումներ, ***տատանողական կոնտուրն*** է: Այն բաղկացած է կոնդենսատորից և նրան միացված կոճից:

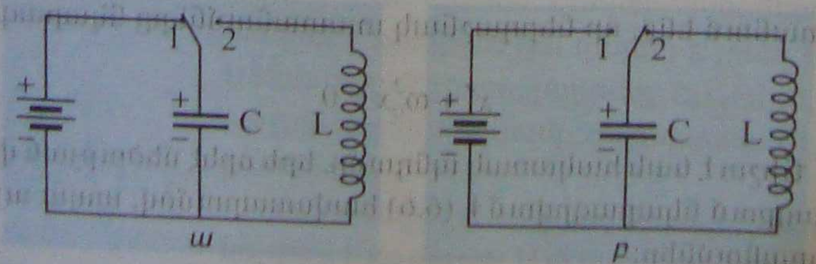
Դիտարկենք տատանողական կոնտուրում լիցքի, հոսանքի ուժի և լարման տատանումները: Եթե նկ. 110,ա-ում պատկերված շղթայում փոխարկիչի օգնությամբ տատանողական կոնտուրի կոնդենսատորը որոշ ժամանակ միացնենք հոսանքի աղբյուրին, ապա այն կլիցքավորվի: Կոնդենսատորի շրջադիրների միջև կառաջանա էլեկտրական դաշտ, որը, համաձայն (1.46) բանաձևի, օժտված է

$$W_{էլ} = \frac{q_m^2}{2C} \qquad (6.7)$$

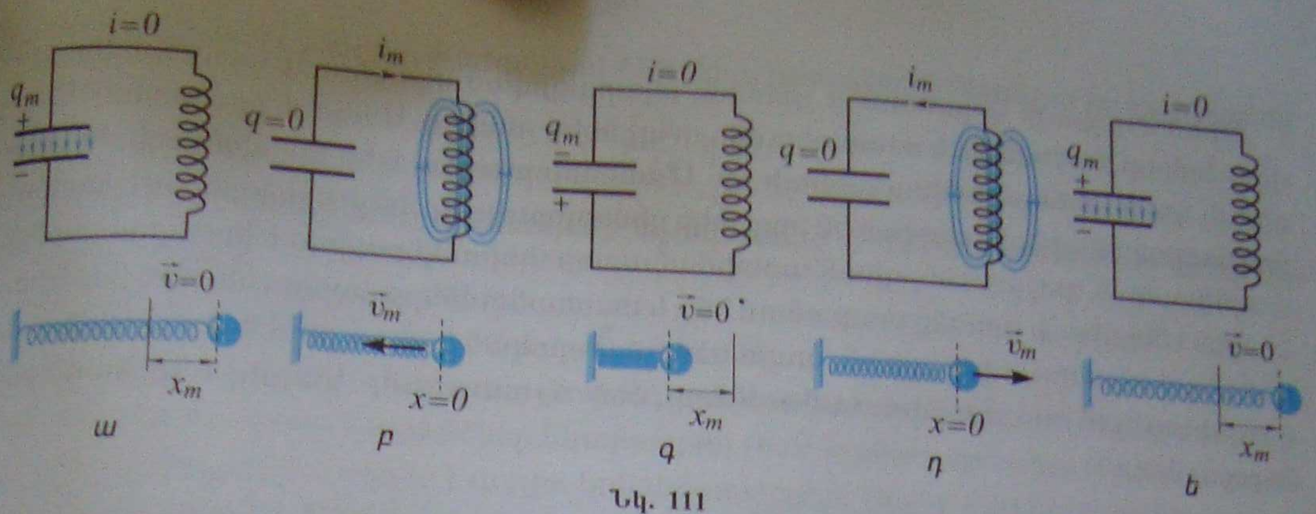
էներգիայով, որտեղ q_m-ը հոսանքի աղբյուրից կոնդենսատորի ստացած լիցքն է, իսկ C-ն՝ կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը:

Եթե այժմ փոխարկիչը 1 դիրքից տեղափոխենք 2 դիրք (նկ. 110,բ), ապա կոնդենսատորը կսկսի լիցքաթափվել: Մանրամասնորեն քննարկենք այդ պրոցեսը:

Նկ. 111,ա-ում պատկերված է լիցքավորման սկզբնական պահը: Այդ պահից սկսած շղթայում առաջանում է էլեկտրական հոսանք: Հոսանքի ուժը ոչ թե միանգամից է հասնում իր առավելագույն արժեքին, այլ մեծանում է աստիճանաբար: Դա պայմանավորված է ինքնամակածման երևույթով: Հոսանքի աճին զուգընթաց կոճում նրա ստեղծած մագնիսական դաշտը ևս աճում է, ինչի հետևանքով ծագում է ինքնամակածման ԷլՇՈՒ, հետևաբար՝ նաև ինքնամակածման հոսանք, որն էլ, համաձայն Լենցի կանոնի, խոչընդոտում է հոսանքի ակնթարթային մեծացմանը:



Նկ. 110



Նկ. 111

Կոնդենսատորի պարպման հետ մեկտեղ նրա լիցքը, հետևաբար և էլեկտրական դաշտի էներգիան նվազում են, բայց աճում է կոճի մագնիսական դաշտի

$$W_{մագ} = \frac{Li^2}{2} \qquad (6.8)$$

էներգիան, որտեղ L-ը կոճի ինդուկտիվությունն է, իսկ i-ն՝ հոսանքի ուժի արժեքը ժամանակի տվյալ պահին: Տատանողական կոնտուրի լրիվ էներգիան ժամանակի ցանկացած պահի հավասար է էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի էներգիաների գումարին՝

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}: \qquad (6.9)$$

Այս բանաձևի համաձայն, երբ կոնդենսատորի լիցքը հավասարվում է զրոյի, կոճում հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն i_m արժեքը (նկ. 111,բ): Այդ պահին կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան արդեն լրիվ փոխակերպվել է կոճի մագնիսական դաշտի էներգիայի: Չնայած կոնդենսատորի լարումը հավասար է զրոյի, սակայն էլեկտրական հոսանքն իսկույն չի դադարում: Դրան դարձյալ խոչընդոտում է ինքնամակածման երևույթը, որի շնորհիվ առաջացած ինքնամակածման հոսանքն այս անգամ արդեն համուղղված է սկզբնական հոսանքին: Արդյունքում կոնդենսատորը վերալիցքավորվում է այնքան ժամանակ, մինչև հոսանքը, նվազելով, հավասարվում է զրոյի: Նկ. 111,գ-ում պատկերված է այն պահը, երբ կոնդենսատորի վերալիցքավորումն ավարտվել է: Վերալիցքավորման արդյունքում կոնդենսատորի շրջադիրների լիցքերը փոխում են իրենց նշանը:

Դրանից հետո լիցքերը սկսում են շարժվել հակառակ ուղղությամբ: Էլեկտրական դաշտը նորից սկսում է նվազել, և կոճի ներսում դարձյալ ի հայտ է գալիս մագնիսական դաշտ: Երբ էլեկտրական դաշտը լրիվ անհետանում է, մագնիսական դաշտը հասնում է իր առավելագույն արժեքին (նկ. 111,դ):

Այնուհետև կոճի մագնիսական դաշտը, նվազելով, դարձյալ լիցքավորում է կոնդենսատորը, և համակարգը վերադառնում է իր սկզբնական վիճակին (նկ. 111,ե): Այս պահից սկսած՝ նկարագրված ամբողջ պրոցեսը կրկնվում է, այսինքն՝ տատանողական կոնտուրում առաջանում են էլեկտրամագնիսական տատանումներ՝ պարբերական էլեկտրական դաշտի էներգիան վերածվում է մագնիսական դաշտի էներգիայի և, հակառակը, մագնիսական դաշտի էներգիան՝ էլեկտրական դաշտի էներգիայի:

Եթե էներգիայի կորուստներ չլինեին, նկարագրված պրոցեսը կշարունակվեր անվերջ երկար ժամանակ, և տատանումները կլինեին չմարող: Սակայն իրականում էներգիայի կորուստներն անխուսափելի են: Մասնավորապես, էլեկտրական շղթան կազմող հաղորդալարերն օժտված են որոշակի դիմադրությամբ, ինչի հետևանքով էլեկտրամագնիսական դաշտի էներգիան աստիճանաբար փոխակերպվում է հաղորդալարերի ներքին էներգիայի (դրանք տաքանում են), և տատանումները մարում են: Եթե կորուստները բավականաչափ փոքր են, ապա տատանողական կոնտուրում ծագած էլեկտրամագնիսական ազատ տատանումները մեծ ճշտությամբ կարող ենք համարել ներդաշնակ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր համակարգն են անվանում տատանողական կոնտուր:*
2. *Ինչպե՞ս կարելի է ստանալ էլեկտրամագնիսական տատանումներ:*
3. *Գրե՛ք տատանողական կոնտուրում էլեկտրամագնիսական տատանումների լրիվ էներգիայի բանաձևը:*
4. *Ինչու՞ տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորի պարպման ժամանակ հոսանքն աստիճանաբար է աճում:*
5. *Ապացուցե՛ք, որ երբ տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորի լիցքը դառնում է հավասար զրոյի, հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն արժեքը:*
6. *Նկարագրե՛ք տատանողական կոնտուրում էլեկտրամագնիսական տատանումների առաջացման պրոցեսը:*
7. *Ինչու՞ տատանողական կոնտուրում ծագած ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումները ժամանակի ընթացքում մարում են:*

§61. Տատանողական կոնտուրում ազատ տատանումների քանակական նկարագրությունը

Այժմ պարզենք, թե ինչ օրենքով են նկարագրվում տատանողական կոնտուրում ծագող ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումները: Ենթադրենք՝ կոնտուրի R դիմադրությունն այնքան փոքր է, որ էլեկտրամագնիսական էներգիայի կորուստները կարելի է անտեսել (այդպիսի տատանողական կոնտուրն անվանում են իդեալական): Այդ դեպքում, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, կոնտուրի

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} \qquad (6.10)$$

լրիվ էներգիան ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում՝ $W = const$: (6.10) հավասարման աջ և ձախ մասերն ածանցելով ըստ ժամանակի և հաշվի առնելով, որ հաստատուն մեծության ածանցյալը հավասար է զրոյի, կստանանք՝

$$\frac{1}{2C} \cdot 2qq' + \frac{L}{2} \cdot 2ii' = 0 : \qquad (6.11)$$

Լիցքի ածանցյալն ըստ ժամանակի հավասար է հոսանքի ուժին՝ $q' = i$, որտեղից հետևում է, որ հոսանքի ուժի ածանցյալը հավասար է լիցքի երկրորդ ածանցյալին՝ $i' = q''$: (6.11) հավասարման մեջ տեղադրելով $i = q'$ և $i' = q''$ արտահայտություններն

ու նրա աջ և ձախ մասերը բաժանելով Li-ի վրա, կստանանք հետևյալ հավասարումը՝

$$q'' + \frac{1}{LC} q = 0 ; \tag{6.12}$$

Եթե $1/LC$ մեծությունը նշանակենք ω_0-ով, ապա (6.12) հավասարումը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$q'' + \omega_0^2 q = 0 ; \tag{6.13}$$

Այս հավասարումը, բացառությամբ օգտագործված տառերի, ոչնչով չի տարբերվում ներդաշնակ տատանումները նկարագրող (6.6) հավասարումից: Միայն այստեղ որպես x մեծություն հանդես է գալիս կոնդենսատորի q լիցքը: Հետևաբար՝ կարող ենք պնդել, որ տատանողական կոնտուրում ծագող ազատ, չմարող էլեկտրամագնիսական տատանումները ներդաշնակ տատանումներ են, և կոնդենսատորի լիցքը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է

$$\boxed{q = q_m \cos \omega_0 t} \tag{6.14}$$

օրենքով: Մենք օգտագործում ենք կոսինուս ֆունկցիան, քանի որ ժամանակի սկզբնական $t = 0$ պահին կոնդենսատորի լիցքն ընդունում է իր առավելագույն q_m արժեքը: Միաժամանակ, նկատի առնելով (6.13) հավասարման մեջ օգտագործված ω_0 նշանակումը, կարող ենք պնդել նաև, որ տատանողական կոնտուրում ծագած տատանումների շրջանային հաճախությունը որոշվում է

$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \tag{6.15}$$

բանաձևով: ω_0-ն անվանում են կոնտուրի սեփական հաճախություն: Տեղադրելով այս արտահայտությունը հաճախության $\nu = \omega_0/2\pi$ և պարբերության $T = 2\pi/\omega_0$ բանաձևերի մեջ՝ կստանանք.

$$\boxed{\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}, \tag{6.16}$$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{LC}}; \tag{6.17}$$

Ստացված բանաձևերը ճիշտ են իդեալական տատանողական կոնտուրի համար, որի դիմադրությունը հավասար է զրոյի: Սակայն դրանք կարելի է օգտագործել նաև այն դեպքում, երբ կոնտուրի դիմադրությունը բավականաչափ փոքր է:

Էլեկտրամագնիսական տատանումների պարբերության (6.17) բանաձևը տեսականորեն ստացվել է անգլիացի ֆիզիկոս ***Ու. Թոմսոնի*** կողմից և կոչվում է նրա անունով: Բանաձևից հետևում է, որ իդեալական կոնտուրում ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումների պարբերությունը որոշվում է միայն կոնտուրի ինդուկտիվությամբ և ունակությամբ:

Օգտվելով կոնդենսատորի շրջադիրների միջև լարման $U = q/C$ բանաձևից և նրա մեջ տեղադրելով q լիցքի (6.14) արտահայտությունը, լարման տատանումների համար կստանանք՝

ու նրա աջ և ձախ մասերը բաժանելով Li-ի վրա, կստանանք հետևյալ հավասարումը՝

$$q'' + \frac{1}{LC}q = 0 : \tag{6.12}$$

Եթե $1/LC$ մեծությունը նշանակենք ω_0-ով, ապա (6.12) հավասարումը կընդունի հետևյալ տեսքը՝

$$q'' + \omega_0^2 q = 0 : \tag{6.13}$$

Այս հավասարումը, բացառությամբ օգտագործված տառերի, ոչնչով չի տարբերվում ներդաշնակ տատանումները նկարագրող (6.6) հավասարումից: Միայն այստեղ որպես x մեծություն հանդես է գալիս կոնդենսատորի q լիցքը: Հետևաբար՝ կարող ենք պնդել, որ տատանողական կոնտուրում ծագող ազատ, չմարող էլեկտրամագնիսական տատանումները ներդաշնակ տատանումներ են, և կոնդենսատորի լիցքը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է

$$\boxed{q = q_m \cos \omega_0 t} \tag{6.14}$$

օրենքով: Մենք օգտագործում ենք կոսինուս ֆունկցիան, քանի որ ժամանակի սկզբնական $t = 0$ պահին կոնդենսատորի լիցքն ընդունում է իր առավելագույն q_m արժեքը: Միաժամանակ, նկատի առնելով (6.13) հավասարման մեջ օգտագործված ω_0 նշանակումը, կարող ենք պնդել նաև, որ տատանողական կոնտուրում ծագած տատանումների շրջանային հաճախությունը որոշվում է

$$\boxed{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \tag{6.15}$$

բանաձևով: ω_0-ն անվանում են կոնտուրի սեփական հաճախություն: Տեղադրելով այս արտահայտությունը հաճախության $\nu = \omega_0/2\pi$ և պարբերության $T = 2\pi/\omega_0$ բանաձևերի մեջ՝ կստանանք.

$$\boxed{\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}, \tag{6.16}$$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{LC}} : \tag{6.17}$$

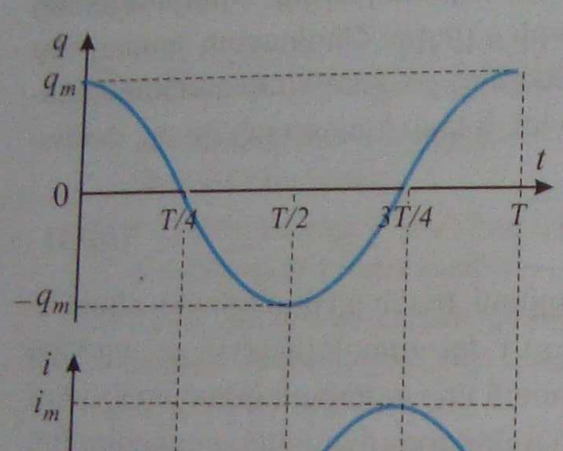
Ստացված բանաձևերը ճիշտ են իդեալական տատանողական կոնտուրի համար, որի դիմադրությունը հավասար է զրոյի: Սակայն դրանք կարելի է օգտագործել նաև այն դեպքում, երբ կոնտուրի դիմադրությունը բավականաչափ փոքր է:

Էլեկտրամագնիսական տատանումների պարբերության (6.17) բանաձևը տեսանորեն ստացվել է անգլիացի ֆիզիկոս ***Ու. Թոմսոնի*** կողմից և կոչվում է նրա անունով: Բանաձևից հետևում է, որ իդեալական կոնտուրում ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումների պարբերությունը որոշվում է միայն կոնտուրի ինդուկտիվությամբ և ունակությամբ:

Օգտվելով կոնդենսատորի շրջադիրների միջև լարման $U = q/C$ բանաձևից և նրա մեջ տեղադրելով q լիցքի (6.14) արտահայտությունը, լարման տատանումների համար կստանանք՝

$$U = \frac{q_m}{C}\cos\omega_0 t = U_m \cos\omega_0 t \qquad (6.18)$$

օրենքը, որտեղ $U_m = q_m/C$ մեծությունը լարման լայնութային արժեքն է: (6.18) բանաձևից հետևում է, որ լարումը, ժամանակից կախված, նույնպես փոփոխվում է ներդաշնակության օրենքով: Ներդաշնակ տատանումներ են կատարում ոչ միայն կոնդենսատորի լիցքը և լարումը, այլև հոսանքի ուժը: Իրոք, հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքը հավասար է լիցքի ածանցյալին՝ $i = q'(t) = -q_m\omega_0 \sin\omega_0 t$: Նշանակելով $i_m = q_m\omega_0$ և հաշվի առնելով, որ $\sin\omega_0 t = -\cos(\omega_0 t + \pi/2)$, կստանանք՝



Նկ. 112

$$\boxed{i = i_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right)} : \qquad (6.19)$$

Համեմատելով այս բանաձևը լիցքի (6.14) բանաձևի հետ՝ նկատում ենք, որ հոսանքի ուժի և լիցքի տատանումները միմյանց նկատմամբ շեղված են $\pi/2$ փուլով: Այդ մեծությունների՝ ժամանակից կախումն արտահայտող գրաֆիկները պատկերված են նկ. 112-ում: (6.14) և (6.19) բանաձևերում լիցքի և հոսանքի ուժի q_m և i_m լայնութային արժեքները որոշվում են տատանողական կոնտուրի լրիվ էներգիայով: Քանի որ $W = q_m^2/2C = Li_m^2/2$, ապա՝

$$q_m = \sqrt{2WC}\,, \quad i_m = \sqrt{\frac{2W}{L}} : \qquad (6.20)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք տատանողական կոնտուրում լիցքի ազատ տատանումները նկարագրող հիմնական բանաձևը:*
2. *Գրե՛ք տատանողական կոնտուրում ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումների ժամանակ կոնդենսատորի լիցքի և լարման՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևերը:*
3. *Գրե՛ք տատանողական կոնտուրում ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումների ժամանակ հոսանքի ուժի՝ ժամանակից կախումն արտահայտող բանաձևը:*
4. *Գրե՛ք Թոմսոնի բանաձևը:*
5. *Կոնդենսատորի լիցքը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում է $q = 4\cdot 10^{-5}\cos(4\pi t)$ օրենքով: Ինչի՞ են հավասար տատանումների լայնույթը, շրջանային հաճախությունը և պարբերությունը, եթե լիցքն արտահայտված է կուլոններով, իսկ ժամանակը՝ վայրկյաններով:*
6. *Ինչպե՞ս է կախված հոսանքի լայնութային արժեքը տատանողական կոնտուրի լրիվ էներգիայից:*

§ 62. Մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումների համանմանությունը

Համեմատելով մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումները՝ կարմանալի համանմանություն ենք գտնում նրանց միջև: Առաջին հայացքից կարող է թվալ, թե այդ երևույթները միանգամայն տարբեր են: Իսկապես, ի՞նչ ընդհանուր բան կարող է լինել դեֆորմացված զսպանակի ազդեցությամբ մարմնի շարժման և կոնդենսատորի պարպման ժամանակ էլեկտրոնների շարժման միջև: Սակայն նախորդ պարագրաֆներում մեր քննարկումները ցույց են տալիս, որ նշված երկու համակարգերում էլ ընթացող պրոցեսները նկարագրվում են միևնույն հասկացություններով և հավասարումներով: Այդ համանմանությունը պայմանավորված է մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումները ծնող պայմանների համանմանությամբ: Այսպես, զսպանակին ամրացված բեռի տատանման ժամանակ վերջինս իր հավասարակշռության դիրքն է վերադառնում զսպանակի առաձգականության ուժի շնորհիվ, որի մոդուլն ուղիղ համեմատական է հավասարակշռության դիրքից բեռի x շեղման մոդուլին՝ $F_{առ} = k|x|$: Որպես համեմատականության գործակից հանդես է գալիս զսպանակի k կոշտությունը: Էլեկտրամագնիսական տատանումների դեպքում կոնդենսատորը պարպվում է նրա շրջադիրների միջև U լարման շնորհիվ, որն ուղիղ համեմատական է կոնդենսատորի q լիցքին՝ $U = q/C$: Համեմատականության գործակիցը կոնտուրի էլեկտրաունակության հակադարձ $1/C$ մեծությունն է:

Այսպիսով՝ էլեկտրամագնիսական տատանումների դեպքում $1/C$ մեծությունը նույն դերն է կատարում, ինչ որ մեխանիկական տատանումների ժամանակ զսպանակի k կոշտությունը ($k \leftrightarrow 1/C$):

Ճիշտ այնպես, ինչպես մեխանիկական տատանումների դեպքում ուժի ազդեցությամբ մարմնի արագությունն իներցիայի երևույթի շնորհիվ միանգամից չի աճում կամ նվազում, այնպես էլ էլեկտրամագնիսական տատանումների դեպքում ինքնամակածման երևույթի շնորհիվ կոճում հոսանքի ուժը միանգամից չի աճում կամ նվազում: Էլեկտրամագնիսական տատանումների ժամանակ կոճի L ինդուկտիվությունը նույն դերն ունի, ինչ բեռի m զանգվածը՝ մեխանիկական տատանումների ժամանակ ($m \leftrightarrow L$):

Ելնելով վերը նշվածից և նկ. 111-ում պատկերված տատանողական կոնտուրի ու զսպանակին ամրացված բեռի տատանումների տարբեր փուլերի համեմատությունից, հանգում ենք այն եզրակացությանը, որ տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորի լիցքավորմանը, այսինքն՝ մարտկոցից նրան $q_m^2/2C$ էներգիա հաղորդելուն համապատասխանում է զսպանակին $kx_m^2/2$ պոտենցիալ էներգիա հաղորդելը: Համեմատելով այս արտահայտությունները՝ նկատում ենք, որ x_m շեղումը համապատասխանում է կոնդենսատորի q_m լիցքին:

Կոնդենսատորի վրա կիրառված լարման շնորհիվ հոսանքի ծագումը համապատասխանում է առաձգականության ուժի ազդեցությամբ մարմնի արագության ի հայտ գալուն: Ինչպես կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան փոխակերպվում է կոճի մագնիսական դաշտի $Li^2/2$ էներգիայի, այնպես էլ զսպանակի պոտենցիալ էներգիան փոխակերպվում է բեռի $mv^2/2$ կինետիկ էներգիայի: Համեմատելով էներգիաների այս երկու արտահայտությունները՝ նկատում ենք, որ բեռի v արագությունը համապատասխանում է i հոսանքի ուժին ($v \leftrightarrow i$):

Մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումները նկարագրող մեծությունների նշված համապատասխանությունները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Օգտվելով այս համանմանությունից՝ կարելի է անմիջապես գրել տատանողական կոնտուրում էլեկտրամագնիսական տատանումների հաճախության և պարբերության բանաձևերը: Իրոք, եթե զսպանակին ամրացված բեռի տատանման հաճախության և պարբերության $\nu = \sqrt{k/m}/2\pi$ և $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ բանաձևերում զսպանակի k կոշտությունը փոխարինենք կոնդենսատորի էլեկտրաունակության հակադարձ $1/C$ մեծությամբ, իսկ m զանգվածը՝ կոճի L ինդուկտիվությամբ, ապա կստանանք մեզ արդեն ծանոթ

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \qquad T = 2\pi\sqrt{LC} \tag{6.21}$$

բանաձևերը:

Աղյուսակ 1

Մեխանիկական մեծություններ		*Էլեկտրամագնիսական մեծություններ*	
x	կոորդինատ	q	լիցք
v	արագություն	i	հոսանքի ուժ
m	զանգված	L	ինդուկտիվություն
k	զսպանակի կոշտություն	$\frac{1}{C}$	էլեկտրաունակության հակադարձ մեծություն
$\frac{mv^2}{2}$	կինետիկ էներգիա	$\frac{Li^2}{2}$	մագնիսական դաշտի էներգիա
$\frac{kx^2}{2}$	պոտենցիալ էներգիա	$\frac{q^2}{2C}$	էլեկտրական դաշտի էներգիա

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Մեխանիկական տատանումներում ո՞ր մեծություններն են համանման էլեկտրամագնիսական տատանումներում q (լիցք), i (հոսանքի ուժ), L (ինդուկտիվություն), C (էլեկտրաունակություն) մեծություններին:*

2. *Էլեկտրամագնիսական տատանումներում ո՞ր մեծություններն են համանման մեխանիկական տատանումներում F (ուժ), $mv^2/2$ (կինետիկ էներգիա), $kx^2/2$ (զսպանակի պոտենցիալ էներգիա) մեծություններին:*

§ 63. Փոփոխական էլեկտրական հոսանք

Ժամանակի ընթացքում փոփոխվող ցանկացած հոսանք անվանում են ***փոփոխական:*** Ընդ որում, կարող է փոխվել թե՛ հոսանքի ուժը, թե՛ հոսանքի ուղղությունը: Եթե փոփոխական հոսանքի ուժի արժեքները հավասար T ժամանակամիջոցներից հետո կրկնվում են, ապա հոսանքը կոչվում է ***պարբերական***: Առավել լայն կիրառություններ ունեն ժամանակի ընթացքում ներդաշնակության օրենքով փոփոխվող հոսանքները, որոնք կոչվում են ***սինուսոիդական հոսանքներ:***

Տատանողական կոնտուրում ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումների ժամանակ ծագող հոսանքը նույնպես փոփոխական հոսանք է: Սակայն այն ժամանակի ընթացքում մարում է, ուստի գործնական լայն կիրառություն չունի: Որպեսզի տատանումները չմարեն, անհրաժեշտ է կոնտուրին պարբերաբար լրացուցիչ էներգիա հաղորդել: Այդպիսի տատանումները կոչվում են ***հարկադրական տատանումներ:*** Կենցաղում և արտադրության մեջ օգտագործվող փոփոխական հոսանքները ժամանակի ընթացքում ներդաշնակության օրենքով փոփոխվող հարկադրական էլեկտրամագնիսական տատանումներ են: Աշխարհի շատ երկրներում, այդ թվում՝ նաև մեր երկրում արտադրվող փոփոխական հոսանքի հաճախությունը 50 Հց է: Այդպիսի հոսանքը, փոփոխվելով սինուսի օրենքով, 1 վ-ի ընթացքում 100 անգամ փոխում է իր ուղղությունը:

Որպեսզի հաղորդչում առաջանա սինուսոիդական հոսանք, անհրաժեշտ է նրա ծայրերին կիրառել այդ նույն օրենքով փոփոխվող լարում: Իրոք, այդ դեպքում հաղորդչի ներսում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը ժամանակի ընթացքում նույնպես կփոխվի սինուսի օրենքով: Դաշտի լարվածության նման փոփոխությունները կառաջացնեն լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժման, հետևաբար՝ նաև հոսանքի ուժի սինուսոիդական տատանումներ:

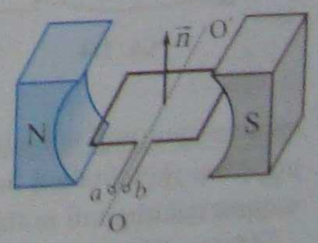
Փոփոխական լարում ստանում են ***փոփոխական հոսանքի գեներատոր*** կոչվող սարքի օգնությամբ, որը մեխանիկական կամ ջերմային էներգիան փոխակերպում է էլեկտրական էներգիայի:

Փոփոխական հոսանքի գեներատորի աշխատանքը հիմնված է էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի վրա: Որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես է այն աշխատում, դիտարկենք այդպիսի գեներատորի պարզագույն մոդելը, որը բաղկացած է հաստատուն մագնիսից և մետաղալարից պատրաստված շրջանակից (նկ. 113):

Ենթադրենք՝ մագնիսը ν հաճախությամբ պտտվում է շրջանակի OO' առանցքի շուրջը: Այդ դեպքում t ժամանակում մագնիսի կատարած պտույտների թիվը՝ $N = \nu t$: Քանի որ մեկ պտույտին համապատասխանում է 2π ռադիան անկյուն, ապա t ժամանակում մագնիսը կպտտվի

$$\Delta\varphi = 2\pi N = 2\pi\nu t = \omega t \qquad (6.22)$$

անկյունով, որտեղ $\omega = 2\pi\nu$ -ն շրջանային հաճախությունն է (կամ պտտման անկյունային արագությունը): Այդ նույն $\Delta\varphi$ մեծությամբ կփոխվի նաև շրջանակի $\vec{n}$ նորմալի և մագնիսական ինդուկցիայի $\vec{B}$ վեկտորի կազմած φ անկյունը:



Նկ. 113

Մագնիսական ինդուկցիայի հոսքը շրջանակով ժամանակի t պահին որոշվում է

$$\Phi = BS\cos\varphi = BS\cos(\Delta\varphi + \varphi_0) = BS\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad (6.23)$$

բանաձևով, որտեղ B-ն մագնիսական ինդուկցիայի վեկտորի մոդուլն է, S-ը՝ շրջանակի մակերեսը, իսկ φ_0-ն՝ $\vec{n}$ և $\vec{B}$ վեկտորների կազմած անկյան արժեքը ժամանակի $t = 0$ սկզբնական պահին: φ անկյան անընդհատ փոփոխության հետևանքով մագնիսական հոսքը նույնպես անընդհատ փոփոխվում է, ինչի շնորհիվ շրջանակում առաջանում է մակածման ԷլՇՈՒ: Համաձայն էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքի՝

$$\mathcal{E} = -\Phi' = -(BS\cos\varphi)' = BS\sin\varphi\,\varphi', \qquad (6.24)$$

որտեղ φ'-ը φ անկյան ածանցյալն է ըստ ժամանակի: Հաշվի առնելով, որ $\varphi' = (\omega t + \varphi_0)' = \omega$, կստանանք՝

$$\boxed{\mathcal{E} = BS\omega\sin(\omega t + \varphi_0) = \mathcal{E}_0\sin(\omega t + \varphi_0)}\,, \qquad (6.25)$$

որտեղ $\mathcal{E}_0 = BS\omega$ մեծությունը մակածման ԷլՇՈՒ-ի լայնույթն է:

Եթե այժմ շրջանակի a և b ծայրերին միացնենք R դիմադրությամբ որևէ սպառիչ, ապա նրանով կանցնի փոփոխական հոսանք: Հոսանքի ուժը կարող ենք որոշել՝ օգտվելով Օհմի օրենքից՝

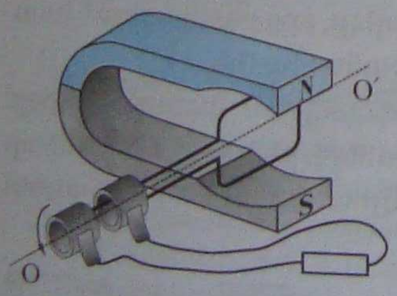
$$i = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{\mathcal{E}_0}{R}\sin(\omega t + \varphi_0)\,, \qquad (6.26)$$

կամ, նշանակելով $i_m = \mathcal{E}_0/R$, կստանանք՝

$$i = i_m\sin(\omega t + \varphi_0)\,: \qquad (6.27)$$

Ընդհանուր դեպքում, երբ սպառիչը, բացի ռեզիստորից, որի դիմադրությունը կոչվում է օհմական կամ ակտիվ դիմադրություն, պարունակում է նաև կոնդենսատորներ և ինդուկտիվության կոճեր, հոսանքի ուժի և գեներատորի ԷլՇՈՒ-ի տատանման փուլերը կարող են չհամընկնել:

Փոփոխական հոսանքի գեներատորի քննարկված մոդելում ***ռոտորը*** (պտտվող մասը) մագնիս է, իսկ ***ստատորը*** (անշարժ մասը)՝ շրջանակը: Փոփոխական հոսանք կարելի է ստանալ նաև գեներատորի այլ կառուցվածքի դեպքում, երբ որպես ռոտոր հանդես է գալիս շրջանակը, իսկ որպես ստատոր՝ մագնիսը (նկ. 114): Այդ դեպքում, որպեսզի ռոտորի ծայրերին միացված հոսանքատար հաղորդալարերը չփաթաթվեն միմյանց, ռոտորի ծայրերին միացնում են ***հպակային օղակներ,*** որոնց սեղմված անշարժ թիթեղները՝ ***խոզանակները,*** իրականացնում են ռոտորի կապն արտաքին շղթայի հետ:



Նկ. 114

Գեներատորում շրջանակը կամ մագնիսը նույնիսկ հավասարաչափ պտտելու համար անհրաժեշտ է անընդհատ աշխատանք կատարել, քանի որ շրջանակով հոսող մակածման հոսանքի վրա մագնիսական դաշտի կողմից ազդող ամպերյան ուժերը ձգտում են արգելակել շրջանակի պտույտը:

Մենք քննարկեցինք փոփոխական հոսանքի գեներատորի պարզագույն մոդելը: Իրականում էլեկտրակայաններում տեղակայվում են ավելի բարդ կառուցվածք ունեցող գե-

ներատորներ, որոնք թույլ են տալիս ստանալ մեծ հզորություններ: Դրանք պարունակում են ոչ թե մեկ, այլ մեծ թվով փաթույթներ, և մագնիսական դաշտն ուժեղացնելու համար հաստատուն մագնիսի փոխարեն օգտագործվում են հզոր էլեկտրամագնիսներ: Հիդրոէլեկտրակայաններում ռոտորը պտտելու համար օգտագործվում է հոսող ջրի էներգիան, իսկ ջերմաէլեկտրակայաններում՝ գոլորշու ներքին էներգիան:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր հոսանքն են անվանում փոփոխական:*
2. *Ո՞ր դեպքում հաղորդչում կառաջանա սինուսոիդական հոսանք:*
3. *Նկարագրե՛ք փոփոխական հոսանքի գեներատորի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը:*

§ 64. Հոսանքի ուժի և լարման գործող արժեքներ

Փոփոխական հոսանքի ԷլՇՈՒ-ն, նրանով ստեղծված լարումն և հոսանքի ուժն անընդհատ փոփոխվում են՝ տատանվելով իրենց լայնութային արժեքների միջև: Այդ մեծությունների չափման համար մտցվում է հոսանքի (I_q) և լարման (U_q) գործող արժեքների հասկացությունը: Գործող արժեքների սահմանման համար անհրաժեշտ է օգտվել փոփոխական հոսանքի այն ազդեցություններից, որոնք կախված չեն հոսանքի ուղղությունից: Մասնավորապես, դրանցից է հոսանքի ջերմային ազդեցությունը, քանի որ, ըստ Ջոուլ-Լենցի օրենքի, շղթայում սպառված ջերմաքանակը համեմատական է հոսանքի ուժի քառակուսուն (i^2) և, հետևաբար, կախված չէ հոսանքի ուղղությունից:

Այժմ հաշվարկենք փոփոխական հոսանքի շղթայում անջատված ջերմաքանակը: Ենթադրենք՝

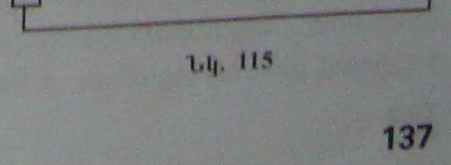
$$u = u_m \cos\omega t \qquad (6.28)$$

ներդաշնակության օրենքով փոփոխվող լարման աղբյուրին միացված է R դիմադրությամբ որևէ սպառիչ (նկ. 115), որի ինդուկտիվությունն ու էլեկտրաունակությունը կարող են անտեսվել: Որպես այդպիսին կարող է լինել էլեկտրական թեյամանը, ջեռուցման սալիկը, շիկացման լամպը և այլն: Այդ դեպքում հոսանքի աշխատանքը ծախսվում է միայն ջերմաքանակի անջատման վրա:

Ինչպես հաստատուն հոսանքի դեպքում, այս դեպքում ևս հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքն ուղիղ համեմատական է լարման ակնթարթային արժեքին: Հետևաբար, կիրառելով Օհմի օրենքը, կարող ենք գրել՝

$$i = \frac{u}{R} = \frac{u_m \cos\omega t}{R} = i_m \cos\omega t : \qquad (6.29)$$

Հաղորդչում հոսանքի ուժը ժամանակի ընթացքում անընդհատ փոփոխվում է, ուստի կփոփոխվի նաև նրանում անջատվող ջերմաքանակը: Էլեկտրաջեռուցիչի թելիկում կամ էլեկտրասալիկի պարույրում անջատվող ջերմաքանակի փոփոխությունը մենք չենք



Նկ. 115

նկատում, քանի որ արդյունաբերական փոփոխական հոսանքի ուժը փոփոխվում է բավականաչափ արագ՝ 50 Հց հաճախությամբ:

Հաստատուն հոսանքի դեպքում հզորությունը R դիմադրությամբ տեղամասում որոշվում է

$$P = I^2R \tag{6.30}$$

բանաձևով: Պարբերության համեմատությամբ բավականաչափ փոքր ժամանակամիջոցում փոփոխական հոսանքը կարելի է դիտել իբրև հաստատուն հոսանք և նրա հզորությունը որոշել

$$P = i^2R \tag{6.31}$$

բանաձևով: Վերջինիս մեջ տեղադրելով փոփոխական հոսանքի $i = i_m cos\omega t$ արտահայտությունը՝ կստանանք հաղորդչում անջատվող հզորության ակնթարթային արժեքը ժամանակի ցանկացած t պահին՝

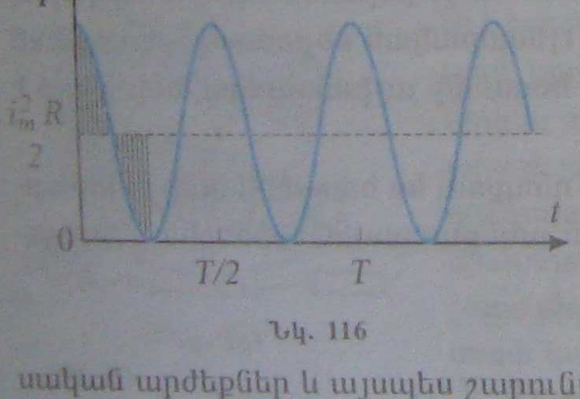
$$P = i_m^2 R cos^2 \omega t : \tag{6.32}$$

Սովորաբար հարկ է լինում իմանալ հզորության ոչ թե ակնթարթային, այլ միջին արժեքը տատանումների շատ պարբերություններ ընդգրկող ժամանակամիջոցում: Քանի որ մենք գործ ունենք պարբերական պրոցեսի հետ, ապա միջին արժեքը գտնելու համար բավական է հաշվել հզորության միջին արժեքը մեկ պարբերության ընթացքում: Եթե հայտնի է հզորության $\bar{P}$ միջին արժեքը, ապա t ժամանակամիջոցում հաղորդչում անջատված ջերմաքանակը՝

$$Q = \bar{P}t : \tag{6.33}$$

Հաշվենք $\bar{P}$ միջին հզորությունը: Օգտվելով եռանկյունաչափությունից հայտնի $2cos^2\alpha = 1 + cos2\alpha$ առնչությունից՝ (6.32) բանաձևը ներկայացնենք հետևյալ տեսքով՝

$$P = \frac{i_m^2 R}{2} + \frac{i_m^2 R}{2} cos2\omega t : \tag{6.34}$$



Նկ. 116

(6.34) բանաձևից հետևում է, որ ակնթարթային հզորությունը, ժամանակից կախված, տատանվում է $i_m^2R/2$ հաստատունի արժեքի շուրջը 2ω շրջանային հաճախությամբ (նկ. 116): Հոսանքի փոփոխության T պարբերության մեկ քառորդի ընթացքում $cos2\omega t$ ֆունկցիան ընդունում է դրական արժեքներ, իսկ հաջորդ քառորդ պարբերության ընթացքում՝ նույնպիսի բացասական արժեքներ և այսպես շարունակ: Հետևաբար՝ այդ ֆունկցիայի միջին արժեքը մեկ պարբերության ընթացքում հավասար է զրոյի: Ուստի (6.34) բանաձևից ստանում ենք, որ հզորության $\bar{P}$ միջին արժեքը՝

$$P = \frac{i_m^2 R}{2} = \left(\frac{i_m}{\sqrt{2}}\right)^2 R = I_q^2 R : \tag{6.35}$$

Փոփոխական հոսանքի ուժի լայնութային արժեքից $\sqrt{2}$ անգամ փոքր արժեքը կոչվում է հոսանքի ուժի ***գործող արժեք.***

$$I_q = \frac{i_m}{\sqrt{2}}; \qquad (6.36)$$

(6.35) բանաձևը համեմատելով հաստատուն հոսանքի հզորության (6.30) բանաձևի հետ, նկատում ենք, որ եթե հաստատուն հոսանքի ուժը հավասար է փոփոխական հոսանքի գործող արժեքին, ապա երկու դեպքում էլ միավոր ժամանակամիջոցում R դիմադրությամբ հաղորդչի վրա անջատվում է միևնույն ջերմաքանակը: Այսպիսով՝ ***փոփոխական հոսանքի ուժի գործող արժեքը հավասար է այն հաստատուն հոսանքի ուժին, որը տվյալ ժամանակամիջոցում հաղորդչում անջատում է այնքան ջերմաքանակ, որքան տվյալ փոփոխական հոսանքը:***

Փոփոխական լարման գործող արժեքը սահմանվում է համանման ձևով՝

$$U_q = \frac{u_m}{\sqrt{2}}; \qquad (6.37)$$

Սովորաբար, երբ խոսքը վերաբերում է փոփոխական հոսանքի ուժի կամ լարման արժեքներին, նկատի են ունենում դրանց գործող արժեքները: Օրինակ, երբ ասում ենք, որ տանիքում փոփոխական լարումը 220 Վ է, նկատի ունենք ոչ թե լարման լայնութային, այլ գործող արժեքը: Փոփոխական հոսանքի ամպերմետրերը և վոլտմետրերը սովորաբար աստիճանավորում են այնպես, որ նրանք ցույց են տալիս հոսանքի ուժի ու լարման գործող արժեքները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մեծություններն են կոչվում հոսանքի ուժի և լարման գործող արժեքներ:*
2. *Ինչու՞ շիկացման լամպի ակնթարթային հզորության փոփոխությունը նկատելի չէ:*
3. *Փոփոխական հոսանքի լուսավորման տանիքում լարումը 220 Վ է: Ինչի՞ է հավասար լարման լայնութային արժեքը:*

§ 65. Էլեկտրաէներգիայի հաղորդումը: Տրանսֆորմատոր

Էլեկտրաէներգիան արտադրվում է էլեկտրակայաններում, որոնք սովորաբար կառուցվում են վառելիքի կամ ջրային պաշարների աղբյուրներին մոտ վայրերում: Էլեկտրաէներգիան էլեկտրակայաններից սպառողին հաղորդելիս հաղորդալարերը տաքանում են, և հաղորդվող էներգիայի մի մասը կորչում է: Համաձայն Ջոուլ-Լենցի օրենքի՝ այդ կորուստները որոշվում են

$$Q = I_q^2 Rt \qquad (6.38)$$

բանաձևով, որտեղ I_q-ն հոսանքի ուժի գործող արժեքն է, իսկ $R = \rho l/S$-ը՝ հաղորդալարերի դիմադրությունը: Եթե հաղորդալարերը շատ երկար են, դիմադրությունը դառնում է շատ մեծ, կորուստները մեծանում են, և էլեկտրաէներգիայի հաղորդումը դառնում է տնտեսապես ոչ շահավետ: (6.38) բանաձևից հետևում է, որ կորուստները կարելի է

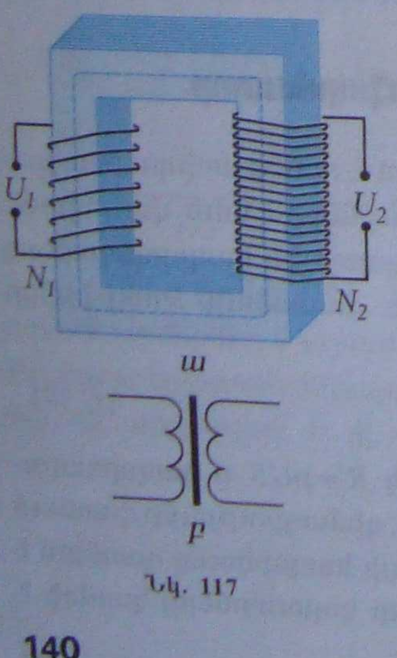
փոքրացնել, եթե փոքրացվի հաղորդալարերի դիմադրությունը կամ նրանցով անցնող հոսանքի ուժի գործող արժեքը:

Դիմադրությունը կարելի է փոքրացնել՝ մեծացնելով հաղորդալարի լայնական հատույթի մակերեսը և օգտագործելով փոքր տեսակարար դիմադրությամբ հաղորդիչներ: Սակայն տնտեսական և տեխնիկական առումներով դա նպատակահարմար չէ, քանի որ հաղորդալարերը կծանրանան, և մեծ քանակությամբ մետաղ կծախսվի: Ուստի ավելի նպատակահարմար է փոքրացնել հոսանքի ուժը: Քանի որ հոսանքի հզորությունը ուղիղ համեմատական է հոսանքի ուժի և լարման արտադրյալին, ապա հաղորդվող հզորությունը պահպանելու համար անհրաժեշտ է հոսանքի ուժը փոքրացնելու հետ մեկտեղ բարձրացնել լարումը հաղորդման գծերում: Կորուստների փոքրացման տեսանկյունից որքան երկար են հաղորդման գծերը, այնքան ավելի նպատակահարմար է բարձր լարման օգտագործումը: Սովորաբար էլեկտրակայաններում փոփոխական հոսանքի գեներատորներն արտադրում են մեկ-երկու տասնյակ կիլովոլտ լարումներ, իսկ մեծ հեռավորությունների վրա էլեկտրաէներգիան հաղորդելիս անհրաժեշտ է լինում լարումը բարձրացնել մինչև հարյուրավոր կիլովոլտեր:

Նման բարձր լարումների դեպքում սպառիչներին հասած էլեկտրաէներգիան անհնար է անմիջականորեն օգտագործել: Տարբեր սպառիչներ նախատեսված են տարբեր լարումների համար: Օրինակ՝ կենցաղային էլեկտրասարքերի մեծ մասը նախատեսված է 127 կամ 220 Վ լարման համար, էլեկտրաշարժիչները՝ 220 Վ, 380 Վ, 600 Վ և այլ լարումների համար, ուստի էլեկտրաէներգիա օգտագործելուց առաջ գծի ծայրերում լարումը ցածրացնելու անհրաժեշտություն է առաջանում:

Էլեկտրաէներգիան հաղորդելիս և օգտագործելիս լարման արժեքի մեծացումը կամ փոքրացումը կատարվում է հատուկ սարքերի օգնությամբ, որոնք կոչվում են ***տրանսֆորմատորներ: Առանց հաճախության փոփոխության էլեկտրական լարման արժեքը մեծացնող կամ փոքրացնող սարքը կոչվում է տրանսֆորմատոր:***

Պարզագույն տրանսֆորմատորը կազմված է փոքր տեսակարար դիմադրություն ունեցող մետաղալարե երկու փաթույթներից, որոնք հագցված են փակ պողպատե միջուկի վրա: Փոփոխական լարման աղբյուրին միացվող փաթույթը կոչվում է ***առաջնային,*** իսկ սպառիչին միացվողը՝ ***երկրորդային փաթույթ:*** Փաթույթների գալարները մեկուսացված են ինչպես իրարից, այնպես էլ միջուկից: Տրանսֆորմատորի կառուցվածքը և պայմանական նշանը պատկերված է նկ. 117ա,բ-ում (կետագծերով պատկերված է մագնիսական ուժագծերից մեկը):



Նկ. 117

Տրանսֆորմատորի աշխատանքի հիմքում ընկած է էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը: Առաջնային փաթույթով փոփոխական հոսանք անցնելիս տրանսֆորմատորում առաջանում է փոփոխական մագնիսական դաշտ: Թափանցելով երկու փաթույթներով՝ այդ դաշտը նրանցից յուրաքանչյուրում մակածում է մրրկային էլեկտրական դաշտ, որն ազդելով ազատ էլեկտրոնների վրա՝ փաթույթներում մակածում է ԷլՇՈՒ: ԷլՇՈՒ-ի ակնթարթային արժեքը յուրաքանչյուր գալարում կարելի է որոշել $e_i = -\Phi'$ բանաձևով, որտեղ Φ-ն յուրաքանչյուր գալարով մագնիսական հոսքն է: Այդ հոսքը պողպատե

միջուկի մագնիսացման շնորհիվ հիմնականում կենտրոնացված է նրա մեջ: Միջուկում փոփոխվող մագնիսական հոսքը հավասարապես թափանցում է երկու փաթույթների բոլոր գալարները, ուստի յուրաքանչյուր գալարում մակածվում է միևնույն e_1 ԷլՇՈՒ-ն: ԷլՇՈՒ, հետևաբար և հոսանք է մակածվում նաև միջուկում: Այդպիսի հոսանքները, որոնք տաքացնում են միջուկը, կոչվում են ***Ֆուկոյի հոսանքներ***: Դրանք փոքրացնելու նպատակով տրանսֆորմատորի միջուկը սովորաբար պատրաստում են պողպատե բարակ բիթեղներից, որոնք միմյանցից մեկուսացված են լաքով կամ մեկուսիչ այլ նյութով:

Եթե առաջնային փաթույթի գալարների թիվն N_1 է, իսկ երկրորդային փաթույթինը՝ N_2, ապա նրանցում մակածված ԷլՇՈՒ-ների ակնթարթային արժեքները կորոշվեն համապատասխանաբար

$$\mathscr{E}_1 = N_1 e_1 = -N_1 \Phi' \tag{6.39}$$

$$\mathscr{E}_2 = N_2 e_1 = -N_2 \Phi' \tag{6.40}$$

բանաձևերով: Բաժանելով այս հավասարումները միմյանց վրա՝ կստանանք

$$\frac{\mathscr{E}_1}{\mathscr{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}. \tag{6.41}$$

Տրանսֆորմատորի առաջնային փաթույթի համար Օհմի օրենքը գրվում է $\mathscr{E}_1 + U_1 = I_1' R_1$ տեսքով, որտեղ R_1-ն առաջնային փաթույթի ակտիվ դիմադրությունն է, I_1'-ը՝ նրանով անցնող հոսանքի ուժը: R_1-ի փոքրության հետևանքով $I_1' R_1$ մեծությունը կարելի է անտեսել $|\mathscr{E}_1|$ և $|U_1|$ մեծությունների համեմատությամբ և ընդունել, որ $U_1 \approx -\mathscr{E}_1$:

Եթե տրանսֆորմատորին որևէ սպառիչ միացված չէ, այսինքն՝ տրանսֆորմատորն աշխատում է, այսպես կոչված, ***պարապ ընթացքով,*** ապա նրա երկրորդային փաթույթով հոսանք չի անցնում՝ $I_2' = 0$: Այդ դեպքում երկրորդային փաթույթի համար Օհմի օրենքից ($U_2 + \mathscr{E}_2 = I_2' R_2 = 0$) հետևում է, որ $U_2 = -\mathscr{E}_2$: ԷլՇՈՒ-ների $\mathscr{E}_1$ և $\mathscr{E}_2$ ակնթարթային արժեքները ժամանակի ընթացքում միաժամանակ են հասնում իրենց առավելագույն արժեքներին և միաժամանակ են դառնում զրո: Հետևաբար՝ (6.41) հավասարման մեջ դրանց հարաբերությունը կարելի է փոխարինել (նկատի ունենալով, որ $\mathscr{E}_1 \approx -U_1$, $\mathscr{E}_2 = -U_2$) լարումների U_1 և U_2 գործող արժեքներով՝

$$\boxed{\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{N_1}{N_2} = k}. \tag{6.42}$$

$k = N_1/N_2$ մեծությունը կոչվում է ***տրանսֆորմացիայի գործակից:*** Ըստ (6.42) բանաձևի, եթե $k > 1$, ապա $U_2 < U_1$, այսինքն՝ լարումը ելքում փոքրանում է: Այդպիսի տրանսֆորմատորը կոչվում է ***իջեցնող:*** Եթե $k < 1$, ապա $U_2 > U_1$, այսինքն՝ լարումը տրանսֆորմատորի ելքում մեծանում է: Այդպիսի տրանսֆորմատորը կոչվում է ***բարձրացնող:***

Տրանսֆորմատորի երկրորդային շղթան բեռնավորելիս, այսինքն՝ որևէ սպառիչ միացնելիս, նրանով անցնում է I_2 հոսանք: Այդ հոսանքը միջուկում առաջացնում է լրացուցիչ փոփոխական մագնիսական հոսք, որը, համաձայն Լենցի կանոնի, պետք է փոքրացնի միջուկում մագնիսական հոսքի փոփոխությունները: Քանի որ այդ հոսքը թափանցում է երկու փաթույթներն էլ, ապա առաջնային փաթույթում արդյունարար մագնիսական հոսքի տատանումների լայնույթի փոքրացումն իր հերթին պետք է փոք-

բացի նրանում մակածված $\mathscr{E}_1$ էլԾՈՒ-ն: Սակայն դա հնարավոր չէ, քանի որ ժամանակի կանկացած պահին $U_1 = -\mathscr{E}_1$, ուստի սպառիչի միացումից անմիջապես հետո հոսանքի ուժն առաջնային փաթույթում (I_1) աճում է այնքան, որ վերականգնվի մագնիսական հոսքի տատանումների լայնույթի նախկին արժեքը:

Այսպիսով, պարապ ընթացքի ժամանակ տրանսֆորմատորը գեներատորից վերցնում է չնչին էներգիա, որը ծախսվում է տրանսֆորմատորի առաջնային փաթույթի տաքացման վրա: Երբ տրանսֆորմատորը բեռնավորվում է, գեներատորից վերցված էլեկտրաէներգիան, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, հավասար է սպառիչի ծախսած և կորուստների վրա ծախսված էներգիաների գումարին: Ժամանակակից տրանսֆորմատորների օգտակար գործողության գործակիցը շատ մեծ է: Այն հասնում է մինչև 99%-ի: Դա նշանակում է, որ փոփոխական հոսանքի աղբյուրից առաջնային փաթույթի ստացած հզորությունն ամբողջությամբ փոխանցվում է երկրորդային փաթույթին միացված սպառիչին՝

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2, \tag{6.43}$$

որտեղից՝

$$\boxed{\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}}: \tag{6.44}$$

Այս բանաձևից հետևում է, որ տրանսֆորմատորի միջոցով լարումը բարձրացնելով որոշակի անգամ՝ նույնքան անգամ փոքրացնում ենք հոսանքի ուժը և հակառակը:

Նշենք, որ հաղորդման գծերում չի կարելի լարումը չափից ավելի բարձրացնել, քանի որ այդ դեպքում զգալի են դառնում հաղորդալարերի շուրջն առաջացող պսակային պարպմամբ պայմանավորված կորուստները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

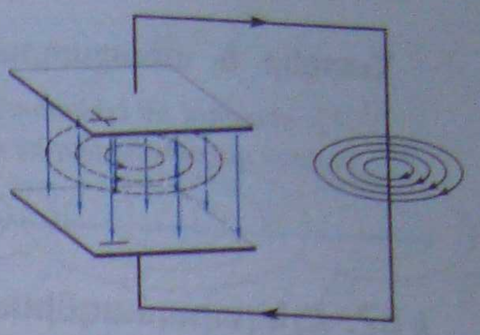
1. *Ինչպե՞ս կարելի է փոքրացնել մեծ հեռավորությունների վրա էլեկտրաէներգիան հաղորդելիս անխուսափելի ջերմային կորուստները:*
2. *Ո՞ր սարքն են անվանում տրանսֆորմատոր:*
3. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի պարզագույն տրանսֆորմատորը:*
4. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում տրանսֆորմացիայի գործակից:*
5. *Ինչպե՞ս է էներգիան տրանսֆորմատորի առաջնային փաթույթից հաղորդվում երկրորդային փաթույթին:*
6. *Գրե՛ք բեռնավորված տրանսֆորմատորի առաջնային և երկրորդային փաթույթներում հոսանքների և լարումների կապն արտահայտող բանաձևը:*

§ 66. Էլեկտրամագնիսական դաշտ

Նախորդ պարագրաֆներում շարադրված նյութը թույլ է տալիս ընդհանրացնել և ամբողջական դարձնել էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի մասին ունեցած մեր պատկերացումները:

«Էլեկտրաստատիկա» բաժնում պարզեցինք, որ անշարժ լիցքերն իրենց շրջապատում ստեղծում են էլեկտրաստատիկ դաշտ: Մագնիսական երևույթներն ուսումնասիրելիս պարզվեց, որ հաստատուն հոսանքները ստեղծում են ժամանակի ընթացք

անփոփոխ մագնիսական դաշտ: Եվ, վերջապես, էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը քննարկելիս պարզվեց, որ ժամանակի ընթացքում փոփոխվող մագնիսական դաշտը ծնում է մրրկային էլեկտրական դաշտ: Դրանով իսկ բացահայտվեց էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի կապը:



Նկ. 118

Վերլուծելով էլեկտրամագնիսական երևույթների օրինաչափությունները՝ Մաքսվելն առաջ քաշեց մի վարկած, որի համաձայն ***ժամանակի ընթացքում փոփոխվող էլեկտրական դաշտը ստեղծում է մագնիսական դաշտ***: Այս վարկածի ճշմարտացիությունը հետագայում ստուգվեց բազմաթիվ փորձերով: Այսպես, օրինակ, տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորը պարպվելիս մագնիսական դաշտ առաջանում է ոչ միայն հաղորդալարերի հոսանքներով, այլև կոնդենսատորի շրջադիրների միջև գոյություն ունեցող փոփոխական էլեկտրական դաշտով (նկ. 118): Հետևաբար՝ մագնիսական դաշտի աղբյուր կարող են լինել ոչ միայն շարժվող լիցքերը (հոսանքները), այլև ժամանակի ընթացքում փոփոխվող էլեկտրական դաշտը:

Օգտվելով վերը նշված գաղափարից և ընդհանրացնելով իր ժամանակ եղած բոլոր փորձարարական և տեսական փաստերը՝ 19-րդ դարի 60-ական թվականներին Մաքսվելը ստեղծեց էլեկտրամագնիսական դաշտի ամբողջական և կատարյալ մի տեսություն, որն ամբողջ խորությամբ բացահայտեց էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի միջև առկա համաչափությունը և միասնական բնույթը:

Համաձայն Մաքսվելի տեսության՝ ***բնության մեջ գոյություն ունի էլեկտրամագնիսական դաշտ, իսկ էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը դրա դրսևորման տարբեր ձևերն են***:

Տարածության յուրաքանչյուր կետում և ժամանակի յուրաքանչյուր պահին էլեկտրամագնիսական դաշտը բնութագրվում է $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորներով: Երբ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը հավասար չէ զրոյի ($\vec{E} \neq 0$) և ժամանակի ընթացքում այն չի փոփոխվում, իսկ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան հավասար է զրոյի ($\vec{B} = 0$), էլեկտրամագնիսական դաշտը դրսևորվում է էլեկտրաստատիկ դաշտի ձևով: Այդպիսի դաշտ ստեղծում են անշարժ լիցքերը:

Երբ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը հավասար է զրոյի ($\vec{E} = 0$), իսկ մագնիսական դաշտի ինդուկցիան զրո չէ ($\vec{B} \neq 0$) և ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում, էլեկտրամագնիսական դաշտը դրսևորվում է մագնիսական դաշտի ձևով: Այդպիսի դաշտ ստեղծում են, օրինակ, բնական մագնիսները:

Եթե տարածության որևէ տիրույթում էլեկտրական դաշտի լարվածության և մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորները միաժամանակ զրո չեն և ժամանակի ընթացքում չեն փոփոխվում, ապա էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը գոյություն ունեն միաժամանակ, սակայն միմյանցից անկախ են: Նրանցից մեկի գոյությունը չի ազդում մյուսի վրա: Այդ դեպքում էլեկտրական դաշտը ստեղծում են միայն լիցքերը, իսկ մագնիսական դաշտը՝ հոսանքները:

Վերջապես, այն դեպքում, երբ $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորները ժամանակից կախված փոփոխվում են, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերն իրարից անկախ գոյություն ունենալ չեն կարող: Այդ դաշտերը փոխադարձաբար պայմանավորված են մեկը մյուսով և միասին կազմում են մեկ միասնական էլեկտրամագնիսական դաշտ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր դեպքում են էլեկտրական և մագնիսական դաշտերն իրարից անկախ:*
2. *Էլեկտրական հոսանքից բացի, ուրիշ ի՞նչ եղանակով կարելի է ստանալ մագնիսական դաշտ:*

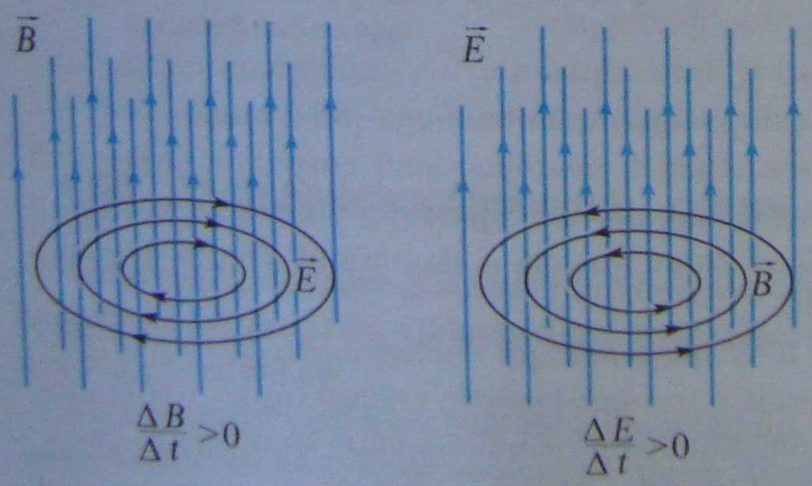
§ 67. Էլեկտրամագնիսական ալիքներ

Մաքսվելի տեսությունից բխող բազմաթիվ կարևոր հետևություններից թերևս ամենակարևորն էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյության կանխատեսումն է: Համաձայն այդ տեսության՝ փոփոխական մագնիսական դաշտը ստեղծում է մրրկային էլեկտրական դաշտ (նկ. 119,ա), իսկ փոփոխական էլեկտրական դաշտը՝ մագնիսական դաշտ (նկ. 119,բ): Եթե տարածության որևէ կետում ստեղծվում է փոփոխական մագնիսական դաշտ (դա կարող է տեղի ունենալ, օրինակ, հաղորդչում հոսանքի ուժի փոփոխության հետևանքով), ապա այն տարածության հարևան կետերում ստեղծում է փոփոխական էլեկտրական դաշտ: Վերջինս իր հերթին այլ կետերում ստեղծում է փոփոխական մագնիսական դաշտ և այսպես շարունակ (նկ. 120): Այսպիսով՝ նկարագրված պրոցեսը չի տեղայնացվում իր ծագման տեղում, այլ ժամանակի ընթացքում, ընդգրկելով ավելի ու ավելի մեծ տիրույթներ, տարածվում է տարածության մեջ՝ առաջացնելով էլեկտրամագնիսական ալիք:

Փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտի տարածումը տարածության մեջ կոչվում է էլեկտրամագնիսական ալիք:

Մաքսվելի տեսությունից հետևում է, որ էլեկտրամագնիսական ալիքում էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը բնութագրող $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորները տարածության տանկացած կետում և ժամանակի տանկացած պահի միշտ փոխուղղահայաց են և տատանվում են ալիքի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց հարթության մեջ: Դա նշանակում է, որ ***էլեկտրամագնիսական ալիքը լայնական ալիք է:***

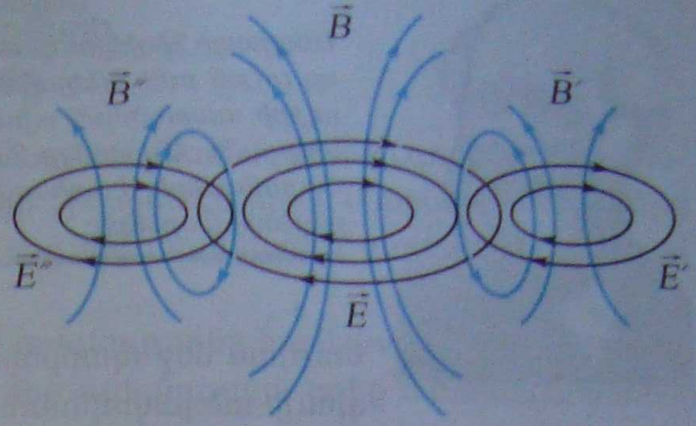
Բոլոր հնարավոր էլեկտրամագնիսական ալիքներից համեմատաբար պարզ տեսք ունեն ներդաշնակության օրենքով փոփոխվող ալիքները, որոնցում $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորների արժեքները ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են սինուսի կամ կոսինուսի օրենքով: Այդպիսի ալիքի ակնթարթային պատկերը բերված է նկ. 121-ում: Ժամանակի ընթացքում այդ պատկերը շարժվում է ալիքի տարածման ուղղությամբ: Եթե խցանահանի բռնակը պտտենք $\vec{E}$-ից դեպի $\vec{B}$, ապա նրա ծայրի շարժման ուղղությունը կլինի ալիքի տարածման ուղղությունը:



ա Նկ. 119 *բ*

Էլեկտրամագնիսական ալիքում էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի տատանումները տեղի են ունենում համափուլ, այսինքն՝ $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորների մոդուլները, միաժամանակ աճելով, ընդունում են իրենց առավելագույն արժեքը և, միաժա-

մանակ ճվազելով, դառնում են հավասար զրոյի: Միևնույն փուլում տատանվող երկու ամենամոտ կետերի հեռավորությունը ալիքի λ երկարությունն է: Ժամանակի տվյալ պահին $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորները տարածության մեջ պարբերաբար փոփոխվում են λ պարբերությամբ:



Նկ. 120

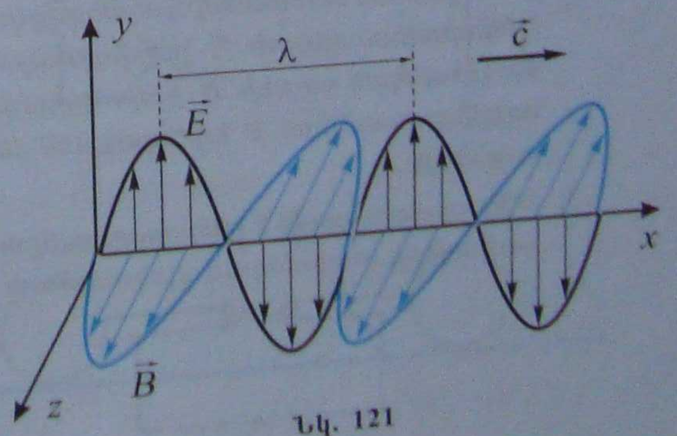
Էլեկտրամագնիսական ալիքները, ի տարբերություն մեխանիկական ալիքների, կարող են տարածվել ոչ միայն տարբեր նյութական միջավայրերում, այլև վակուումում: Մաքսվելի տեսությունից հետևում է, որ վակուումում նրանց տարածման արագությունը հավասար է վակուումում լույսի տարածման արագությանը: Այս կարևոր փաստը Մաքսվելին հնարավորություն տվեց եզրակացնելու, որ լույսը նույնպես էլեկտրամագնիսական ալիք է:

Էլեկտրամագնիսական ալիքներ ստանալու համար անհրաժեշտ է ունենալ էլեկտրամագնիսական տատանումների աղբյուր, որից տատանումները պետք է տարածվեն տարածության մեջ: Այդպիսի աղբյուր է արագացմամբ շարժվող լիցքը: Հաշվարկի իներցիալ համակարգում դադարի վիճակում գտնվող կամ ուղղագիծ հավասարաչափ շարժում կատարող լիցքն էլեկտրամագնիսական ալիք չի կարող ճառագայթել: Իրոք, երբ լիցքը գտնվում է դադարի վիճակում, նրա շուրջը ստեղծվում է միայն էլեկտրաստատիկ դաշտ: Ուղղագիծ հավասարաչափ շարժման դեպքում, բացի էլեկտրական դաշտից, նրա շուրջը ստեղծվում է նաև մագնիսական դաշտ, սակայն այդ դաշտը ժամանակի ընթացքում միշտ կապված է լիցքի հետ և նրանից չի անջատվում: Միայն արագացող շարժման դեպքում է, որ լիցքի առաջացրած փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտը անջատվում է նրանից և ալիքի տեսքով տարածվում տարածության մեջ: Լիցքի կողմից էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթումը շարունակվում է այնքան ժամանակ, քանի դեռ նրա արագացումը չի դարձել հավասար զրոյի:

Էլեկտրամագնիսական ալիքում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և մագնիսական դաշտի ինդուկցիան ուղիղ համեմատական են a արագացմանը ($E \sim a$, $B \sim a$): Քանի որ ներդաշնակ տատանումների դեպքում արագացումը համեմատական է հաճախության քառակուսուն, ապա՝

$$E \sim \nu^2 \quad \text{և} \quad B \sim \nu^2: \qquad (6.45)$$

Ինչպես և մեխանիկական ալիքները, էլեկտրամագնիսական ալիքներն իրենց հետ որոշակի էներգիա են տեղափոխում: Էլեկտրամագնիսական ալիքը, հասնելով տարածության որևէ տիրույթ, նրան օժտում է որոշակի էներգիայով, որը ալիքի էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի էներգիան է: $\vec{E}$ և $\vec{B}$ վեկտորների փոփոխման հետ մեկտեղ այդ էներգիան տարա-



Նկ. 121

Մաքսվել Ջեյմս Քլարկ (1831–1879)

Անգլիացի ֆիզիկոս, դասական էլեկտրադինամիկայի ստեղծող: Ցույց է տվել, որ լույսն ունի էլեկտրամագնիսական բնույթ և որ էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունը վակուումում հավասար է լույսի արագությանը: Մաքսվելը նաև վիճակագրական ֆիզիկայի հիմնադիրներից է: Հայտնաբերել է իդեալական գազի մոլեկուլների՝ ըստ արագությունների բաշխման օրենքը:

ծության մեջ պարբերաբար փոփոխվում է: Ալիքի կողմից էներգիայի տեղափոխման պրոցեսը բանականաչես բնութագրելու համար ֆիզիկայում ներմուծվում է ***ուժգնություն (ինտենսիվություն)*** կոչվող մեծությունը:

Ուժգնություն կոչվում է այն մեծությունը, որը հավասար է միավոր ժամանակամիջոցում ալիքի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց մակերևույթի միավոր մակերեսով անցած միջին էներգիային:

Եթե Δt ժամանակում ալիքի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց մակերևույթի S մակերեսով անցած էներգիայի միջին արժեքը հավասար է W-ի, ապա ուժգնությունը՝

$$I = \frac{W}{S\Delta t}: \qquad (6.46)$$

Ուժգնությունը միավորների ՄՀ-ում չափվում է 1 Վտ/մ^2 միավորով:

Ալիքի էներգիան համեմատական է էլեկտրական դաշտի լարվածության և մագնիսական ինդուկցիայի քառակուսիների գումարին.

$$W \sim (B^2 + E^2): \qquad (6.47)$$

Քանի որ $E \sim \nu^2$ և $B \sim \nu^2$, ապա՝

$$I \sim W \sim \nu^4: \qquad (6.48)$$

Այսպիսով՝ ***ալիքի ճառագայթման ուժգնությունը համեմատական է ալիքի հաճախության չորրորդ աստիճանին:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում էլեկտրամագնիսական ալիք:*
2. *Ինչպե՞ս են էլեկտրամագնիսական ալիքում միմյանց մեջ առնված կոորդինատների էլեկտրական դաշտի $\vec{E}$ լարվածության, մագնիսական դաշտի $\vec{B}$ ինդուկցիայի և ալիքի տարածման $\vec{v}$ արագության վեկտորները:*
3. *Ի՞նչ արագությամբ է էլեկտրամագնիսական ալիքը տարածվում վակուումում:*
4. *Ինչպե՞ս պետք է շարժվի լիցքը, որպեսզի այն ճառագայթի:*
5. *Ճառագայթու՞մ է արդյոք հավասարաչափ շրջանագծային շարժում կատարող լիցքը:*
6. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում ալիքի ճառագայթման ուժգնություն:*
7. *Ինչպե՞ս է ուժգնությունը կախված տատանման հաճախությունից:*
8. *Ի՞նչ միավորով է չափվում ուժգնությունը միավորների ՄՀ-ում:*

§ 68. Էլեկտրամագնիսական ալիքների փորձնական հայտնաբերումը

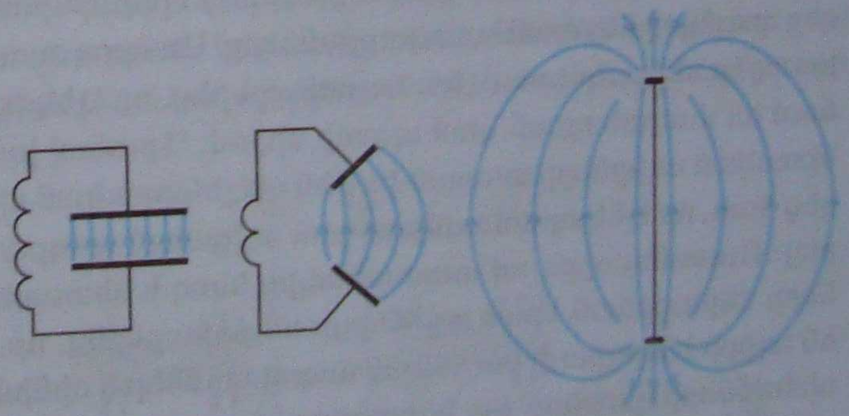
Մաքսվելի տեսությունից բխող էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունն առաջին անգամ փորձով հաստատեց գերմանացի ֆիզիկոս Հ. Հերցը: Մաքսվելի մահվանից 10 տարի անց նրան հաջողվեց լաբորատոր պայմաններում ստանալ և գրանցել էլեկտրամագնիսական ալիքներ:

Քանի որ էլեկտրամագնիսական ալիքի ուժգնությունը համեմատական է նրա հաճախության չորրորդ աստիճանին, ապա մեծ ուժգնության ալիք ստանալու համար նախ անհրաժեշտ է ստեղծել մեծ հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական տատանումներ: Տատանողական կոնտուրի $\nu = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ հաճախությունը կարելի է մեծացնել, փոքրացնելով կոնտուրի էլեկտրաունակությունը և ինդուկտիվությունը: Սակայն տատանումների մեծ հաճախությունը դեռևս բավարար չէ մեծ ուժգնությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ ստանալու համար: § 60-ում դիտարկված տատանողական կոնտուրը գործնականում էլեկտրամագնիսական ալիքներ չի ճառագայթում, քանի որ էլեկտրական դաշտը հիմնականում կենտրոնացված է կոնդենսատորի ներսում, իսկ մագնիսական դաշտը՝ կոճի ներսում: Կոնտուրից հեռու տիրույթներում էլեկտրամագնիսական դաշտը գործնականորեն բացակայում է: Այդ պատճառով այդպիսի կոնտուրն անվանում են ***փակ տատանողական կոնտուր:***

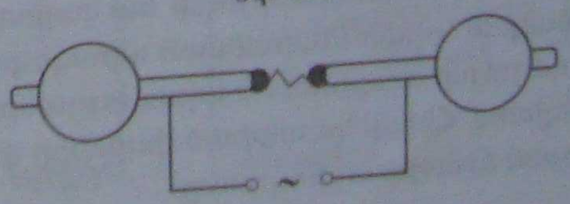
Պարզվում է, որ կոնտուրից մեծ էներգիա կճառագայթվի, եթե կոնդենսատորի շրջադիրներն իրարից հեռացնենք, միաժամանակ փոքրացնելով նրանց մակերեսը և կոճի գալարների թիվը: Նկ. 122-ում պատկերված են այդ գործողության հաջորդական փուլերը:

Արդյունքում փակ տատանողական կոնտուրն ի վերջո կվերածվի ***բաց տատանողական կոնտուրի,*** որն իրենից ներկայացնում է պարզապես ուղիղ հաղորդալար:

Այդպիսի կոնտուրում առաջացած էլեկտրամագնիսական տատանումները չեն տեղայնացվում սահմանափակ տիրույթում, այլ տարածվում են տարածության մեջ որպես էլեկտրամագնիսական ալիք: Բաց տատանողական կոնտուրն օժտված է համեմատաբար փոքր էլեկտրաունակությամբ և ինդուկտիվությամբ, ուստի նրանում ծագող տատանումների հաճախությունը, հետևաբար և ճառագայթված ալիքի ուժգնությունը էապես գերազանցում է փակ կոնտուրի առաքած ուժգնությունը:



Նկ. 122



Նկ. 123

Էլեկտրամագնիսական ալիքներ ստանալու համար Հերցը ստեղծեց մի սարք, որն իրենից ներկայացնում էր բաց տատանողական կոնտուր (նկ. 123): Ներկայումս այն կոչվում է ***Հերցի տատանակ (վիբ-***

Հերց Հայնրիխ Ռուդոլֆ (1857–1894)

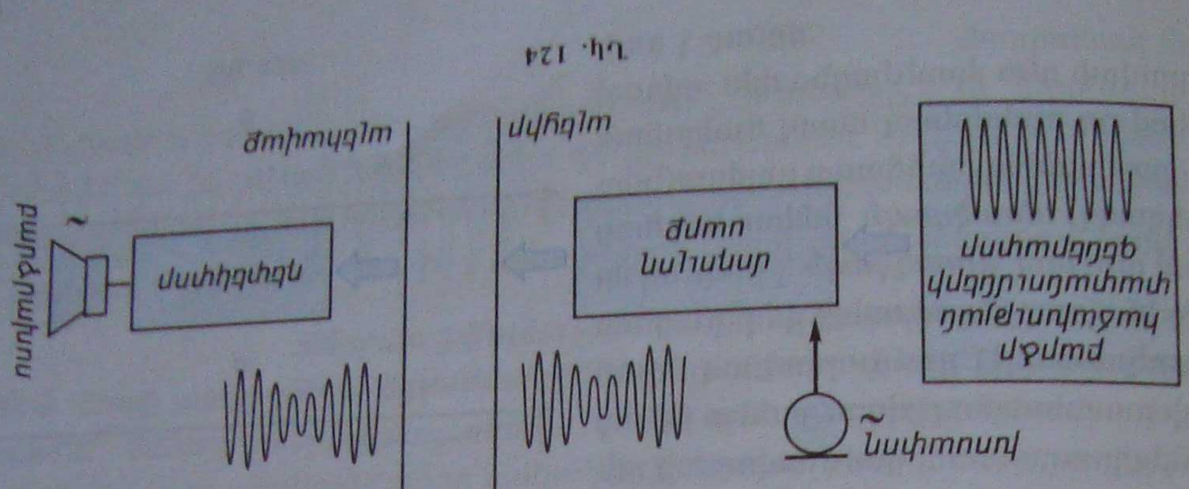
Գերմանացի ֆիզիկոս, էլեկտրադինամիկայի հիմնադիրներից: Փորձով ապացուցել է էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունը և հետազոտել դրանց հատկությունները: Հայտնաբերել է ֆոտոէֆեկտի երևույթը, ուսումնասիրել կաթոդային ճառագայթների հատկությունները, տվել առածգական գնդերի բախման տեսությունը:

բատոր): Հերցի տատանակը կազմված է երկու ուղիղ հաղորդալարերից, որոնց ծայրերն իրարից բաժանված են օդային նեղ տարածությամբ (կայծային արանքով): Հերցը ծողերի ծայրերին ամրացնում էր տարբեր չափերի մետաղե գնդեր, որոնց օգնությամբ փոխում էր տատանակի էլեկտրաունակությունը: Հաղորդալարերը միացվում էին փոփոխական լարման աղբյուրին: Երբ լարումը գերազանցում էր որոշակի սահմանային արժեքը, հաղորդալարերի արանքում կայծ էր թռչում, տատանակի շղթան փակվում էր, և պարպման ընթացքում շղթայում ծագում էին բարձր հաճախության էլեկտրամագնիսական տատանումներ: Այդ տատանումները համանման էին սովորական տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորի պարպման ժամանակ առաջացող տատանումներին: Մարման հետևանքով (ճառագայթում, ջերմային կորուստներ) լարումը փոքրանում էր, և պարպումը դադարում էր: Այնուհետև, երբ լարումը կրկին հասնում էր ծակման արժեքին, նորից կայծ էր առաջանում, և այսպես շարունակ:

Էլեկտրամագնիսական ալիքները գրանցելու համար Հերցը ճառագայթող տատանակից որոշ հեռավորության վրա տեղադրում էր ընդունիչը, որն իրենից ներկայացնում էր ճիշտ այդպիսի մեկ այլ տատանակ: Ընդունիչին հասած էլեկտրամագնիսական ալիքները նրա մեջ առաջացնում էին հարկադրական տատանումներ: Երբ ընդունիչի սեփական հաճախությունը համընկնում էր էլեկտրամագնիսական ալիքի հաճախության հետ, նրանում մակածված լարումը բավարար էր դառնում ընդունիչում կայծ առաջացնելու համար, որը և մթության մեջ դիտում էր Հերցը: Ճառագայթող տատանակի յուրաքանչյուր կայծն ուղեկցվում էր ընդունիչում առաջացող կայծով:

Հերցը ոչ միայն ստացավ և գրանցեց էլեկտրամագնիսական ալիքներ, այլև պարզեց դրանց հիմնական հատկությունները: Առաքող տատանակը և ընդունիչը տեղադրելով տարբեր սենյակներում՝ նա հայտնաբերեց, որ էլեկտրամագնիսական ալիքներն անցնում են փայտե դռան կամ պատի միջով: Դրանով իսկ յույց տրվեց, որ էլեկտրամագնիսական ալիքները տարածվում են դիէլեկտրական միջավայրում: Փորձերով նա պարզեց նաև, որ էլեկտրամագնիսական ալիքներն անդրադառնում են մետաղի մակերևույթից: Ուսումնասիրելով տատանակից եկող և մետաղե թիթեղից անդրադարձած ալիքների վերադրման երևույթը՝ Հերցը հայտնաբերեց, որ տարածության մեջ առաջանում են ալիքի էներգիայի բաշխման մաքսիմումներ և մինիմումներ: Որոշելով հարևան մաքսիմումների դիրքերը՝ նա կարողացավ որոշել ալիքի երկարությունը: Գիտենալով նաև տատանումների հաճախությունը՝ նա կարողացավ $c = \lambda\nu$ բանաձևով որոշել էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունը: Պարզվեց, որ այն հավասար է վակուումում լույսի տարածման արագությանը. $c = 300000$ կմ/վ $= 3 \cdot 10^8$ մ/վ:

Այսպիսով՝ Հերցի կատարած փորձերը փայլուն կերպով ապացուցեցին Մաքսվելի տեսության ճշմարտացիությունը:



Նկ. 124

պրակտիկ լաբորատոր հետազոտություններ: 1901 թ. ևս ռադիոալիքների միջոցով հեռագրային կապ հաստատվեց Ատլանտյան օվկիանոսի միջով: Ռադիոալիքների միջոցով հեռագրային կապ հաստատվեց նաև Ռուսաստանի տարածքում 1909 թ. արդեն ռադիոհեռախոսակապ:

Ռադիոալիքների միջոցով հեռագրային կապ հաստատելու համար անհրաժեշտ է ունենալ հաղորդիչ (ալեհավաք և բաց տատանողական կոնտուր) և ընդունիչ (ալեհավաք և զգայուն հեռագրային ապարատ): Էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման օգտագործումը հնարավորություն է տալիս հեռախոսային խոսակցություններ իրականացնել հսկայական հեռավորությունների վրա: Ռադիոալիքների միջոցով հեռուստատեսային պատկերներ են փոխանցվում արբանյակների միջոցով:

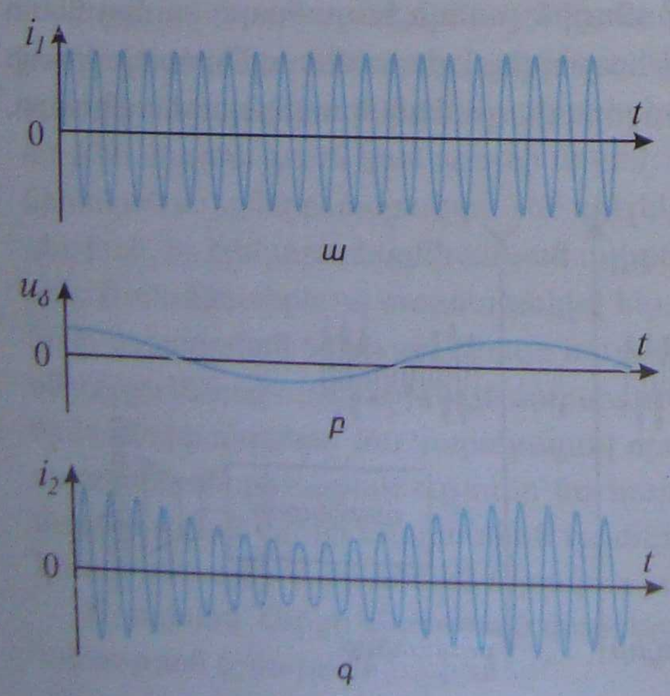
§ 69. Ռադիոալիքների հատկությունները

Ռադիոալիքների ուսումնասիրությունները հնարավոր են դարձրել էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման օրինաչափությունների հետևյալ փաստերը.

1. Ինչո՞ւ փոխ տատանումների ժամանակ ընդունիչի ալեհավաքում առաջացած էլեկտրամագնիսական ալիքները հասնում են ընդունիչի ալեհավաքին:
2. Ինչո՞ւ է հեռախոսային խոսակցությունը հնարավոր իրականացնել հեռավոր տարածությունների վրա:
3. Դիտարկե՛ք, թե ինչպես է ընդունիչի ալեհավաքում առաջացած փոփոխական հոսանքի հաճախությունը համընկնում հաղորդիչի ալեհավաքում առաջացած հոսանքի հաճախության:
4. Ինչպե՞ս է ընդունիչի ալեհավաքում առաջացած հոսանքի ուժգնությունը կախված հաղորդիչի ալեհավաքում առաջացած հոսանքի ուժգնությունից:

երաժշտության հաղորդումը: Աշխարհի շատ գիտնականների և ճարտարագետների ջանքերով ռադիոն կատարելագործվեց այն աստիճանի, որ ներկայիս ռադիոհաղորդիչ կայանները և ռադիոընդունիչները շատ քիչ են հիշեցնում Պոպովի կողմից ստեղծված սարքը:

Ռադիոկապի իրականացման սխեման պատկերված է նկ. 124-ում: Հաղորդիչ կայանում ձայնային ալիքի ճնշման տատանումները խոսափողի օգնությամբ փոխակերպվում են էլեկտրական տատանումների: Առաջին հայացքից կարող է թվալ, որ եթե այդ տատանումներն ուժեղացվեն և տրվեն ալեհիրին (հաղորդող անտենային), ապա ճառագայթված էլեկտրամագնիսական ալիքների միջոցով հնարավոր կլինի խոսք կամ երաժշտություն հաղորդել: Սակայն իրականում այդ եղանակով ազդանշաններ հաղորդելը գործնականորեն անհնար է: Բանն այն է, որ ձայնային ազդանշանները ցածր հաճախության տատանումներ են: Այդպիսի հաճախությունների դեպքում կոնտուրն էլեկտրամագնիսական ալիք գրեթե չի ճառագայթում: Այդ պատճառով ռադիոկապ իրականացնելու համար անհրաժեշտ է օգտագործել բարձր հաճախությամբ տատանումներ: Այդպիսի տատանումներ հաղորդիչ կայանում ստեղծում է բարձր հաճախության գեներատորը: Այդ տատանումներն ալեհիրի օգնությամբ ճառագայթվում են տարածության մեջ: Քանի դեռ բարձր հաճախության տատանումների լայնույթը կամ հաճախությունը չեն փոխվել, առաքված ալիքներն իրենց հետ ոչ մի տեղեկատվություն չեն տեղափոխում, բայի այն փաստից, որ գեներատորն աշխատում է: Այդ տատանումները յուրահատուկ «փոխադրամիջոց» են ձայնային ազդանշանների համար: Ձայնային ազդանշանը հաղորդելու համար բարձր հաճախությամբ տատանումների որևէ պարամետր, օրինակ՝ լայնույթը, փոփոխում են, կամ, ինչպես ասում են, ***մոդուլում*** են ձայնային հաճախության էլեկտրական տատանումների փոփոխման օրենքով: Վերջինս կատարվում է մոդուլող սարքի օգնությամբ, որին անվանում են մոդուլարար: Նկ. 125,ա-ում պատկերված են գեներատորի ստեղծած բարձր հաճախության տատանումները, նկ. 125,բ-ում՝ ձայնային հաճախության տատանումները, իսկ նկ. 125,գ-ում՝ ըստ լայնույթի մոդուլված բարձրհաճախային տատանումները:



Նկ. 125

Մոդուլումից հետո տատանումներն ուժեղացվում են և ալեհիրի միջոցով ճառագայթվում:

Ռադիոընդունիչում ալեհավաքի միջոցով ընդունված տատանումներից որոշակի եղանակով վերականգնվում են ձայնային հաճախության տատանումները: Ձայնային ազդանշանին համապատասխանող ցածր հաճախության էլեկտրական տատանումների վերականգնման այդ պրոցեսը կոչվում է ***դետեկտում,*** իսկ այն իրականացնող սարքը՝ ***դետեկտոր:*** Դետեկտման արդյունքում ստացված ազդանշանն ուժեղացնելուց հետո հաղորդում են բարձրախոսին, որի օգնությամբ այն փոխակերպվում է ձայնի:

Ադամյան Հովհաննես Աբգարի (1879-1932)

Հայ ճարտարագետ-գյուտարար: 1907 թ. հայտնագործել է երկգույն հեռուստատեսությունը: Գունավոր հեռուստատեսության գյուտարար (1925 թ.): Նրան է պատկանում նաև լուսահեռագրության գյուտը:

Հեռուստատեսություն: Ռադիոալիքների միջոցով է իրականացվում նաև պատկերների հաղորդումը հեռավորության վրա՝ հեռուստատեսությունը:

Հաղորդող կայանում պատկերը փոխակերպվում է էլեկտրական ազդանշանների հատուկ սարքի՝ ***իկոնոսկոպի*** միջոցով: Իկոնոսկոպից ստացված ազդանշաններով մոդուլված բարձրհաճախային տատանումներն ալեհիրով առաքվում են տարածության մեջ: Ընդունիչ սարքում՝ հեռուստացույցում, դետեկտումից հետո ստացված տեսաազդանշանը տրվում է ***կինեսկոպին,*** որի էկրանին այն փոխակերպվում է տեսանելի պատկերի: Գունավոր պատկեր ստանալու համար մեկ տեսաազդանշանի փոխարեն հաղորդվում է երեքը՝ կարմիր, կանաչ, կապույտ, հիմնական գույներին համապատասխան:

Հեռուստատեսության գյուտարարը հայ նշանավոր ճարտարագետ Հ.Ադամյանն է (1907 թ.): 1925 թ. Ադամյանը ներկայացրել է գունավոր հեռուստատեսության առաջին նախագիծը: Նույն թվականին Երևանի պետական համալսարանում նա պատրաստել և գործարկել է «Հեռատես» եռագույն հեռուստացույցը:

Ադամյանի առաջարկած հեռուստատեսությունն առաջին անգամ կիրառվել է 1928 թ.՝ Լոնդոնում, իսկ 1951-53 թթ. այն որպես գունավոր պատկերների հաղորդման կայուն համակարգ ընդունվել է ԱՄՆ-ում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Պատկերե՛ք ռադիոկապի իրականացման սխեման:*
2. *Ո՞ր պրոցեսն են անվանում մոդուլում:*
3. *Ո՞ր պրոցեսն են անվանում դետեկտում:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Տատանողական կոնտուրում կոնդենսատորի լիցքը փոփոխվում է $q = 10^{-6} \sin 500t$ օրենքով, որտեղ ֆիզիկական մեծություններն արտահայտված են ՄՀ-ի միավորներով: Գտնել լիցքի տատանումների լայնույթը, շրջանային հաճախությունը, հաճախությունը, պարբերությունը, սկզբնական փուլը, հոսանքի ուժի կախումը ժամանակից և նրա լայնութային արժեքը:*

Լուծում: Կոնդենսատորի լիցքը փոփոխվում է $q = q_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$ օրենքով: Այս հավասարումը համեմատելով $q = 10^{-6} \sin 500t$ հավասարման հետ՝ ենթադրում ենք, որ լիցքի լայնույթը՝ $q_m = 10^{-6}$ Կլ, տատանումների սկզբնական փուլը՝ $\varphi_0 = 0$, շրջանային հաճախությունը՝ $\omega_0 = 500$ ռադ·վ$^{-1}$: Տատանումների հաճախության և պարբերության համար կստանանք՝

$$\nu = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 79{,}6\ \text{Հց}, \quad T = \frac{1}{\nu} \approx 0{,}0126\ \text{վ}:$$

Քանի որ հոսանքի ուժը հավասար է լիցքի ածանցյալին, ապա՝

$$i = q' = 10^{-6} \cdot 500 \cos 500t = 5 \cdot 10^{-4} \cos 500t:$$

Վերջին բանաձևից հետևում է, որ $i_m = 5 \cdot 10^{-4}$ Ա:

2. ***Տատանողական կոնտուրը բաղկացած է $L = 0{,}2$ Հն ինդուկտիվությամբ կոճից և $C = 10^{-5}$ Ֆ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատորից: Այն պահին, երբ կոնդենսատորի լիցքը՝ $q = 10^{-5}$ Կլ, կոճում հոսանքի ուժը՝ $i = 0{,}01$ Ա: Որոշել հոսանքի ուժի առավելագույն արժեքը: Կորուստները հաշվի չառնել:***

Լուծում: Կոնտուրի լրիվ էներգիան՝

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}:$$

Երբ հոսանքի ուժն ընդունում է իր առավելագույն արժեքը, $W = Li_m^2/2$:

Համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի՝

$$\frac{Li_m^2}{2} = \frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2}, \text{ որտեղից՝ } i_m = \sqrt{\frac{q^2}{LC} + i^2} \approx 1{,}22 \cdot 10^{-2}\ \text{Ա}:$$

3. ***Տրանսֆորմատորի առաջնային փաթույթը սնցին միացնելիս նրա երկրորդային փաթույթում առաջանում է $U = 30$Վ լարում: Նույն սնցին տրանսֆորմատորի երկրորդային փաթույթը միացնելիս առաջնային փաթույթում առաջանում է $U' = 120$Վ լարում: Քանի՞ գալար է պարունակում առաջնային փաթույթը, եթե երկրորդային փաթույթի գալարների թիվը 1200 է:***

Լուծում: Առաջնային փաթույթը սնցին միացնելիս

$$\frac{U_0}{U} = \frac{N_1}{N_2},$$

որտեղ U_0-ն սնցի լարումն է, իսկ N_1-ն և N_2-ը՝ տրանսֆորմատորի առաջնային և երկրորդային փաթույթների գալարների թվերն են:

Երկրորդային փաթույթը սնցին միացնելիս՝

$$\frac{U_0}{U'} = \frac{N_2}{N_1}:$$

Բաժանելով այս երկու հավասարումների աջ և ձախ մասերն իրար վրա, կստանանք՝

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{U'}{U}, \text{ որտեղից՝ } N_1 = N_2\sqrt{\frac{U'}{U}} = 2400:$$

Խնդիրներ

1. *Քանի՞ անգամ կփոքրանա տատանողական կոնտուրում ծագած ներդաշնակ տատանումների հաճախությունը, եթե կոնդենսատորի էլեկտրաունակությունը մեծացվի 25 անգամ, իսկ կոճի ինդուկտիվությունը փոքրացվի 16 անգամ:*
2. *Տատանողական կոնտուրի էլեկտրաունակությունը $5 \cdot 10^{-11}$ Ֆ է, իսկ նրանում առաջացած ներդաշնակ տատանումների հաճախությունը՝ 10^8 Հց: Գտնել կոնտուրի ինդուկտիվությունը:*
3. *Տատանողական կոնտուրը բաղկացած է 10^{-6} Ֆ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատորից և 0,01 Հն ինդուկտիվությամբ կոճից: Լիցքի տատանման լայնույթը 10^{-4} Կլ է: Գտնել հոսանքի ուժի տատանման լայնույթը:*
4. *Տատանողական կոնտուրի կոճի ինդուկտիվությունը 0,2 Հն է, իսկ հոսանքի ուժի ներդաշնակ տատանումների լայնույթը՝ $4 \cdot 10^{-4}$ Ա: Գտնել կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի և կոճի մագնիսական դաշտի էներգիաները այն պահին, երբ հոսանքի ուժի ակնթարթային արժեքը 2 անգամ փոքր է լայնութային արժեքից:*
5. *10^{-5} Ֆ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատորը լիցքավորում են մինչև 400 Վ լարում և միացնում ինդուկտիվության կոճին, որում ծագում են մարող տատանումներ: Որքա՞ն ջերմաքանակ կանջատվի կոնտուրում այն ժամանակամիջոցում, որի ընթացքում լարման տատանումների լայնույթը փոքրացել է 2 անգամ:*
6. *Լիցքավորված կոնդենսատորը միացրել են ինդուկտիվության կոճին: Միացնելուց հինչքա՞ն ժամանակ հետո կոճի մագնիսական դաշտի էներգիան 3 անգամ ավելի մեծ կլինի, քան կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտի էներգիան, եթե կոնտուրում ազատ տատանումների պարբերությունը $2,4 \cdot 10^{-5}$ վ է:*
7. *Քանի՞ գալար ունի 0,05 մ^2 մակերես ունեցող շրջանակը, եթե 0,1 Տլ ինդուկցիայով համասեռ դաշտում 20 վ$^{-1}$ հաճախությամբ պտտելիս նրանում ԷլՇՈՒ-ի լայնութային արժեքը հավասար է 63Վ-ի:*
8. *22 Օմ դիմադրությամբ էլեկտրավառարանը սնվում է փոփոխական հոսանքի աղբյուրից: Գտնել 60 վ-ում վառարանում անջատված ջերմաքանակը, եթե փոփոխական հոսանքի լայնութային արժեքը 10 Ա է:*
9. *Նեոնային լամպը բռնկվում է լարման խիստ որոշակի արժեքների դեպքում: Պարբերության ո՞ր մասի ընթացքում լամպը կլուսարձակի, եթե այն միացնենք այնպիսի ցանցի, որում լարման գործող արժեքը հավասար է լամպի բռնկման լարմանը: Լամպը հանգչում է այն պահին, երբ լարումը, փոքրանալով, հավասարվում է բռնկման լարմանը:*
10. *Բայ տատանողական կոնտուրում հոսանքի ուժը, ժամանակից կախված, փոփոխվում է $i = 0,1\cos(6 \cdot 10^5 \pi t)$ օրենքով: Որոշել կոնտուրի առաքած էլեկտրամագնիսական ալիքի երկարությունը:*
11. *Ռադիոհաղորդիչ կայանի հաղորդիչ կոնտուրում կոճի ինդուկտիվությունը 10^{-6} Հն է: Ի՞նչ էլեկտրաունակությամբ կոնդենսատոր պետք է պարունակի կոնտուրը, որպեսզի հնարավոր լինի առաքել 1000 մ երկարությամբ ռադիոալիք:*

ԳԼՈՒԽ 6-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի, լիցքի, հոսանքի ուժի, լարման պարբերական կամ գրեթե պարբերական փոփոխությունները կոչվում են էլեկտրամագնիսական տատանումներ:
2. Ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումներն առաջանում են, օրինակ, տատանողական կոնտուրում, որը բաղկացած է կոնդենսատորից և մետաղալարե կոճից:
3. Մարման բացակայության դեպքում տատանողական կոնտուրում ծագում են ներդաշնակ տատանումներ: Կոնդենսատորի լիցքն այդ դեպքում փոխվում է $q = q_m \cos\omega_0 t$ օրենքով: q_m -ը լիցքի տատանման լայնույթն է, ω_0-ն՝ տատանման շրջանային հաճախությունը: Տատանողական կոնտուրում ներդաշնակ տատանումների պարբերությունը որոշվում է Թոմսոնի բանաձևով՝ $T = 2\pi\sqrt{LC}$:
4. Արդյունաբերական փոփոխական հոսանքները 50 Հց հաճախությամբ փոփոխվող հարկադրական տատանումներ են:
5. Փոփոխական հոսանքի շղթայում միջին հզորությունը որոշվում է հոսանքի ուժի և լարման գործող արժեքներով: Փոփոխական հոսանքի գործող արժեքը տրվում է $I_q = i_m/\sqrt{2}$ բանաձևով, որտեղ i_m-ը հոսանքի ուժի լայնույթն է:

   Փոփոխական հոսանքն արտադրվում է փոփոխական հոսանքի գեներատորներում, որոնք մեխանիկական կամ ջերմային էներգիան փոխակերպում են էլեկտրական էներգիայի:
6. Մեծ հեռավորության վրա էլեկտրաէներգիան հաղորդելիս հաղորդման գծում ջերմային կորուստները փոքրացնելու համար անհրաժեշտ է փոքրացնել հոսանքի ուժը (մեծացնել լարումը):

   Առանց հաճախության փոփոխության էլեկտրական լարման արժեքը մեծացնող կամ փոքրացնող սարքը կոչվում է տրանսֆորմատոր: Տրանսֆորմատորի առաջնային և երկրորդային փաթույթների լարումների և գալարների թվի միջև գոյություն ունի $U_1/U_2 \approx N_1/N_2$ առնչությունը: Բեռնավորման ռեժիմում՝ քանի անգամ մեծացնում ենք լարումը, այնքան անգամ փոքրանում է հոսանքի ուժը՝ $U_1/U_2 \approx I_2/I_1$:
7. Փոփոխական էլեկտրամագնիսական դաշտի տարածումը տարածության մեջ կոչվում է էլեկտրամագնիսական ալիք: Էլեկտրամագնիսական ալիքները լայնական են: Էլեկտրամագնիսական ալիքում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը և մագնիսական դաշտի ինդուկցիան տատանվում են համափուլ: Վակուումում էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունը հավասար է վակուումում լույսի տարածման արագությանը:
8. Էլեկտրամագնիսական ալիքներ ճառագայթում է արագացմամբ շարժվող լիցքը: Ճառագայթման ուժգնություն է կոչվում միավոր ժամանակում ալիքի տարածման ուղղությանն ուղղահայաց միավոր մակերեսով մակերևույթից անցած էներգիան: Ճառագայթման ուժգնությունը համեմատական է տատանումների հաճախության չորրորդ աստիճանին՝ $I \sim \nu^4$:

$c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ:

XIX դարի վերջին Ջ.Մաքսվելը տեսական ճանապարհով ցույց տվեց, որ հեղց այս՝ $3 \cdot 10^8$ մ/վ արագությամբ է տարածվեց էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման գործընթացը: Հետագայում էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունը՝ Հ. Հերցը փորձնական ճանապարհով հաստատեց: Հետաքրքիր է, որ էլեկտրամագնիսական ալիքների (մի քանի միլիմետրից մինչև մի քանի կիլոմետր) տարածման արագությունը նրանց հաճախականությունից կախված չէ և հավասար է $c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսությունը ստեղծվեց XIX դարի վերջին: Այդ ժամանակ հայտնի էին միայն տեսանելի լույսի ալիքները, որոնց երկարությունները տատանվում են $4000 Å - 7600 Å$ ($1 Å = 10^{-10}$ մ) սահմաններում: Ինչպես հետագայում պարզվեց էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակում տեսանելի լույսի ալիքները կազմում են շատ փոքր մասնաբաժին (տես նկարը էջ 154): Էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսության հիմնադիրը անգլիացի ֆիզիկոս Ջ.Կ.Մաքսվելն է (1831–1879): Նա ենթադրեց, որ էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ցանկացած փոփոխություն տարածության մեջ պետք է տարածվի վերջավոր արագությամբ՝ ալիքի տեսքով: Այդ ալիքները կոչվեցին էլեկտրամագնիսական ալիքներ:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունը փորձնականորեն ապացուցեց գերմանացի ֆիզիկոս Հ.Հերցը (1857–1894): Նա հայտնաբերեց, որ էլեկտրական լիցքավորված մարմինը, որի էլեկտրական լիցքը արագորեն փոխվում է ժամանակի ընթացքում, ճառագայթում է էլեկտրամագնիսական ալիքներ: Հերցի փորձերի հիմնական գաղափարը հետևյալն է: Էլեկտրական տատանումներ գրգռելու համար նա օգտագործեց հատուկ սարք՝ տատանում, որի հաճախականությունը կարելի էր փոխել մեծ սահմաններում: Տատանումների ալիքային երկարությունը չափելու համար նա օգտագործեց ալիքների անդրադարձման երևույթը: Ստացված արդյունքները հաստատեցին Մաքսվելի տեսության ճշտությունը:

Հերցի փորձերից հետո էլեկտրամագնիսական ալիքների ուսումնասիրությունները ընդլայնվեցին: Ռուս գիտնական Պ.Ն.Լեբեդևը (1866–1912) ապացուցեց, որ էլեկտրամագնիսական ալիքները ճնշում են գործադրում նրանց ճանապարհին գտնվող մարմինների վրա: Ռուս ֆիզիկոս Ա.Ս.Պոպովը (1859–1906) առաջինը սկսեց օգտագործել էլեկտրամագնիսական ալիքները հեռավոր կապ հաստատելու համար: Նրա կազմակերպած առաջին ռադիոհաղորդումը տեղի ունեցավ 1896 թ. մայիսի 24-ին: Ռադիոհաղորդումը կատարվեց Սանկտ Պետերբուրգի համալսարանի երկու շենքերի միջև՝ 250 մ հեռավորության վրա: Ռադիոհաղորդման համար օգտագործվեցին Մորզեի այբուբենի նշանները:

Վերադրյուզ

Օպտիկան ֆիզիկայի այն բաժինն է, որը ուսումնասիրում է օպտիկական, լուսային երևույթները: Լույսի տարածման արագությունը զարգացել են փորձարարական տեխնիկայի և գիտության զարգացման հետ, ինչպես նաև էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսության ստեղծ

կայուն հասկանում ենք 1000Å-ից մինչև 1մմ ալիքի երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ճառագայթումները (ուլտրամանուշակագույն, տեսանելի և ինֆրակարմիր ճառագայթումներ):

Օպտիկան բաղկացած է մի քանի բնդարձակ բաժիններից, որոնցից յուրաքանչյուրն ունի որոշակի երևույթների ուսումնասիրման իր խնդիրներն ու մեթոդները:

Օպտիկական երևույթների մի մեծ խումբ կարելի է ուսումնասիրել առանց հաշվի առնելու էլեկտրամագնիսական ճառագայթման, մասնավորապես՝ լույսի ալիքային բնույթը, ընդունելով, որ լուսային (այսինքն՝ էլեկտրամագնիսական) ալիքի էներգիան տարածության մեջ հաղորդվում է որոշակի գծի (ուղիղ կամ կոր) երկայնքով: Այս մոտեցումն ընկած է ***երկրաչափական օպտիկայի*** հիմքում:

Այն օպտիկական երևույթները, որոնք կարող են բացատրվել միայն լույսի ալիքային բնույթով (ինտերֆերենց, դիֆրակցիա, բևեռացում), ուսումնասիրվում են ***ալիքային օպտիկայում***:

Օպտիկայի կարևոր բաժիններից է ***սպեկտրադիտումը***, որը զբաղվում է ատոմների և մոլեկուլների կլանման և արձակման սպեկտրների օրինաչափությունների ուսումնասիրությամբ:

Օպտիկայի բուռն զարգացման նոր փուլը, որը սկսվել է 1960-ական թվականների սկզբից, կապված է լույսի հզոր կոհերենտ աղբյուրների՝ լազերների հայտնագործման և կիրառման հետ:

Լույսի սովորական աղբյուրների կողմից առաքված էլեկտրամագնիսական ալիքների ուժգնությունը չի գերազանցում 10^5 Վտ/մ^2 արժեքը, որին համապատասխանում է ալիքի էլեկտրական դաշտի լարվածության $10 \div 10^3$ Վ/մ արժեքը: Այսպիսի դաշտերն ընդունված է անվանել ***թույլ***: Լույսի լազերային աղբյուրները տալիս են 10^{14} Վտ/մ^2 և ավելի ուժգնությամբ ճառագայթում, որին համապատասխանող $E \sim 10^{11}$ Վ/մ լարվածությունը ներատոմական դաշտերի լարվածության կարգի է: Այսպիսի դաշտերն ընդունված է անվանել ***ուժեղ***:

Թույլ լուսային ալիքների հետ կատարված փորձերից հետևում է, որ օպտիկական երևույթների բնույթը կախված չէ ճառագայթման ուժգնությունից: Այդպիսի երևույթներն ընդունված է անվանել գծային օպտիկական երևույթներ, իսկ դրանք ուսումնասիրող բաժինը՝ ***գծային օպտիկա***:

Մեծ ուժգնությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքների հետ կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ օպտիկական երևույթների բնույթն էապես կախված է ճառագայթման ուժգնությունից: Այսպիսի երևույթների ուսումնասիրությամբ զբաղվում է ***ոչ գծային օպտիկան***:

Օպտիկայում կատարվող հետազոտություններն ունեն հիմնարար նշանակություն և լայնորեն կիրառվում են մարդկային գործունեության ամենատարբեր ոլորտներում (հեռուստատեսություն, կապի օպտիկական համակարգեր, տիեզերական հետազոտություններ, բժշկություն և այլն):

կայումս հասկանում ենք 1000Å-ից մինչև 1մմ ալիքի երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ճառագայթումները (ուլտրամանուշակագույն, տեսանելի և ինֆրակարմիր ճառագայթումներ):

Օպտիկան բաղկացած է մի քանի ընդարձակ բաժիններից, որոնցից յուրաքանչյուրն ունի որոշակի երևույթների ուսումնասիրման իր խնդիրներն ու մեթոդները:

Օպտիկական երևույթների մի մեծ խումբ կարելի է ուսումնասիրել առանց հաշվի առնելու էլեկտրամագնիսական ճառագայթման, մասնավորապես՝ լույսի ալիքային բնույթը, ընդունելով, որ լուսային (այսինքն՝ էլեկտրամագնիսական) ալիքի էներգիան տարածության մեջ հաղորդվում է որոշակի գծի (ուղիղ կամ կոր) երկայնքով: Այս մոտեցումն ընկած է ***երկրաչափական օպտիկայի*** հիմքում:

Այն օպտիկական երևույթները, որոնք կարող են բացատրվել միայն լույսի ալիքային բնույթով (ինտերֆերենց, դիֆրակցիա, բևեռացում), ուսումնասիրվում են ***ալիքային օպտիկայում***:

Օպտիկայի կարևոր բաժիններից է ***սպեկտրադիտումը***, որը զբաղվում է ատոմների և մոլեկուլների կլանման և արձակման սպեկտրների օրինաչափությունների ուսումնասիրությամբ:

Օպտիկայի բուռն զարգացման նոր փուլը, որը սկսվել է 1960-ական թվականների սկզբից, կապված է լույսի հզոր կոհերենտ աղբյուրների՝ լազերների հայտնագործման և կիրառման հետ:

Լույսի սովորական աղբյուրների կողմից առաքված էլեկտրամագնիսական ալիքների ուժգնությունը չի գերազանցում 10^5 Վտ/մ^2 արժեքը, որին համապատասխանում է ալիքի էլեկտրական դաշտի լարվածության $10 \div 10^3$ Վ/մ արժեքը: Այսպիսի դաշտերն ընդունված է անվանել ***թույլ***: Լույսի լազերային աղբյուրները տալիս են 10^{14} Վտ/մ^2 և ավելի ուժգնությամբ ճառագայթում, որին համապատասխանող $E \sim 10^{11}$ Վ/մ լարվածությունը ներատոմական դաշտերի լարվածության կարգի է: Այսպիսի դաշտերն ընդունված է անվանել ***ուժեղ***:

Թույլ լուսային ալիքների հետ կատարված փորձերից հետևում է, որ օպտիկական երևույթների բնույթը կախված չէ ճառագայթման ուժգնությունից: Այդպիսի երևույթներն ընդունված է անվանել գծային օպտիկական երևույթներ, իսկ դրանք ուսումնասիրող բաժինը՝ ***գծային օպտիկա***:

Մեծ ուժգնությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքների հետ կատարված փորձերը ցույց են տալիս, որ օպտիկական երևույթների բնույթն էապես կախված է ճառագայթման ուժգնությունից: Այսպիսի երևույթների ուսումնասիրությամբ զբաղվում է ***ոչ գծային օպտիկան***:

Օպտիկայում կատարվող հետազոտություններն ունեն հիմնարար նշանակություն և լայնորեն կիրառվում են մարդկային գործունեության ամենատարբեր ոլորտներում (հեռուստատեսություն, կապի օպտիկական համակարգեր, տիեզերական հետազոտություններ, բժշկություն և այլն):

7 ԵՐԿՐԱՉԱՓԱԿԱՆ ՕՊՏԻԿԱ

§ 70. Երկրաչափական օպտիկայի փորձարարական օրենքները: Լույսի ուղղագիծ տարածումը

Երկրաչափական օպտիկայում ուսումնասիրվում են լույսի տարածման օրինաչափությունները, ելնելով այն պատկերացումից, որ լույսը լուսային ճառագայթների համախումբ է: Լուսային ճառագայթի գաղափարը երկրաչափական օպտիկայի հիմնական գաղափարն է:

Լուսային ճառագայթի գաղափարին կարելի է հանգել հետևյալ պարզ փորձի օգնությամբ: Եթե լույսի աղբյուրից լույսի փունջն ուղղենք փոքր անցք ունեցող անթափանց էկրանին, ապա նրանից հետո կստացվի լույսի նեղ, զուգահեռ փունջ: Եթե փոքրացնենք անցքի տրամագիծը, ապա անցած փնջի տրամագիծը նույնպես կփոքրանա: Հնարավոր ամենանեղ փունջը, որը կարելի է պատկերացնել, կլինի պարզապես երկրաչափական գիծ: Այդպիսի ***երևակայական նեղ լուսային փունջն անվանում են լուսային ճառագայթ:*** Գործնականում հնարավոր չէ ստանալ մեկ ճառագայթ, սակայն լուսային ճառագայթի հասկացությունը շատ օգտակար է:

Բնության մեջ կարելի է հանդիպել լույսի զուգահեռ փնջերի, սակայն «առանձին լուսային ճառագայթ» հասկացությունը վերացարկում է, այն ներմուծված է շատ նեղ լուսային փնջերի պատկերման համար: Լուսային ճառագայթն այն գիծն է, որի երկայնքով տարածվում է լուսային ճառագայթման էներգիան:

Լուսային ճառագայթի գաղափարի օգտագործումը թույլ է տալիս լույսի տարածումն նկարագրել երկրաչափական մեթոդներով:

Երկրաչափական օպտիկայի հիմքում ընկած են հետևյալ երեք օրենքները, որոնք ստացվել են որպես փորձերի ընդհանրացման արդյունք՝

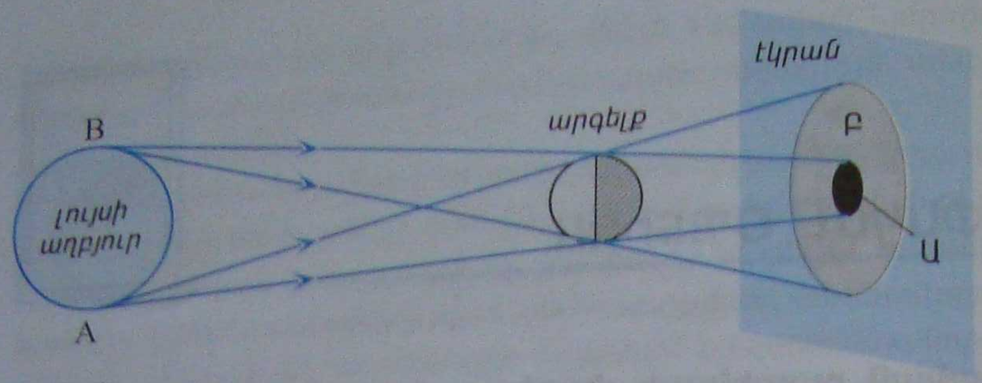
1. լույսի ուղղագիծ տարածման օրենք,
2. լույսի անդրադարձման օրենք,
3. լույսի բեկման օրենք:

Այս օրենքները ճիշտ են, եթե միջավայրի անհամասեռությունների d բնութագրական չափը (օրինակ՝ անթափանց էկրանին արված անցքի տրամագիծը, որով անցնում է լույսը, կամ նրա ճանապարհին առկա արգելքի չափը) շատ անգամ մեծ է լուսային ալիքի λ երկարությունից՝ $\lambda << d$: Այլ կերպ ասած՝ երկրաչափական օպտիկայում անտեսվում են լույսի ալիքային հատկությունները:

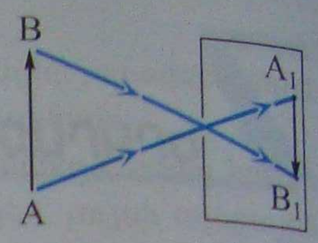
Լույսի ուղղագիծ տարածումը: Դիտումները ցույց են տալիս, որ ***թափանցիկ, համասեռ* միջավայրում լույսը տարածվում է ուղղագիծ:***

Այս օրենքը կոչվում է ***լույսի ուղղագիծ տարածման օրենք:***

* Ավելի ճիշտ՝ օպտիկապես համասեռ (տե՛ս § 73)



Նկ. 126



Նկ. 127

Լույսի ուղղագիծ տարածման բազմաթիվ օրինակների հետ առնչվում ենք առօրյա կյանքում, երբ լույսն անցնում է ծխի, մառախուղի միջով կամ կիսափակ դռան արանքով: Լույսի ուղղագիծ տարածման հետևանք է ստվերի և կիսաստվերի առաջացումը (նկ.126):

Էկրանի Ա ստվերի տիրույթ լույսի ոչ մի ճառագայթ չի ընկնում, իսկ Բ կիսաստվերի տիրույթ ընկնում է լույսի աղբյուրի ճառագայթների մի մասը:

Լույսի ուղղագիծ տարածմամբ են պայմանավորված Արեգակի և Լուսնի խավարումները: Լույսի ուղղագիծ տարածման երևույթի իրավայիութեան մեջ կարող ենք համոզվել սենյակային պայմաններում՝ սենյակի պատուհանները փակելով սև գույնի վարագույրով կամ ստվարաթղթով: Այնուհետև փոքր, կլոր անցք բացելով ստվարաթղթի վրա՝ մենք մութ սենյակում կտեսնենք արևի լույսի փունջ, որը, տարածվելով սենյակով, անցքի դիմացի պատին կառաջացնի կլոր բիծ:

Լույսի ուղղագիծ տարածմամբ է բացատրվում առարկայի պատկերի ստացումը մթնախցիկում (նկ.127): Մթնախցիկի առջև դրված է լուսավորված AB առարկան: Եթե մթնախցիկի անցքը փոքր է (ասենք՝ 1÷2 մմ), ապա մթնախցիկի հետին պատին դրված կաթնապակու վրա ստացվում է AB առարկայի շրջված և փոքրացված A_1B_1 պատկերը, ինչը վկայում է լույսի՝ անցքով ուղղագիծ տարածվելու մասին: Սկսենք փոքրացնել մթնախցիկի անցքի տրամագիծը և հետևենք առարկայի պատկերին: Կնկատենք, որ սկզբում պատկերի հստակությունը մեծանում է, միաժամանակ թուլանում է նրա պայծառությունը, քանի որ փոքրանում է մթնախցիկ մտնող լուսային էներգիան: Սակայն երբ անցքի տրամագիծը դառնում է 10^{-5} մ-ի կարգի, պատկերը լղոզվում է, իսկ երբ տրամագիծը դառնում է 10^{-6} մ-ի կարգի, ապա պատկերն անհետանում է, և կաթնապակին դառնում է թույլ և հավասարաչափ լուսավորված: Անցքի փոքրացմանը զուգընթաց պատկերի լղոզումը և հետագա անհետացումն ապացուցում են, որ լույսի ուղղագիծ տարածման օրենքը խախտվում է: Իրոք, լուսային ալիքի երկարությունը՝ $\lambda \sim (4 \div 8)\cdot 10^{-7}$ մ է, ուստի երբ անցքի տրամագիծը՝ $d \sim 10^{-7}$ մ, խախտվում է երկրաչափական օպտիկայի կիրառելիության $\lambda << d$ պայմանը, այսինքն՝ դրսևորվում են լույսի ալիքային հատկությունները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է լուսային ճառագայթը:*
2. *Որո՞նք են երկրաչափական օպտիկայի հիմնական օրենքները:*
3. *Ե՞րբ են ճիշտ երկրաչափական օպտիկայի օրենքները:*
4. *Ձևակերպե՛ք լույսի ուղղագիծ տարածման օրենքը:*

5. *Բերե՛ք համասեռ միջավայրում լույսի ուղղագիծ տարածումը հաստատող որևէ օրինակ:*
6. *Նկ.126-ի A կետից տանել երկու ճառագայթ, որոնցից մեկն ընկնում է կիսաստվերի տիրույթ, իսկ մյուսը կլանվում է արգելքի կողմից և չի հասնում ստվերի տիրույթ:*
7. *Ինչպե՞ս են առաջանում Արեգակի և Լուսնի խավարումները:*
8. *Հայտնի են Արեգակի լրիվ և օղակաձև խավարումները: Երկրորդ դեպքում Լուսնի սկավառակի շուրջը դիտվում է արեգակնային օղակը: Ինչպե՞ս է առաջանում նման խավարումը:*

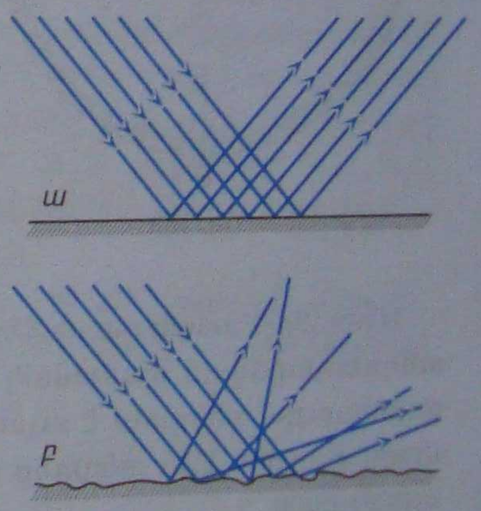
§ 71. Լույսի անդրադարձումը

Լույսի ճառագայթն ուղղագիծ է տարածվում միայն համասեռ միջավայրում: Լույսը, հասնելով երկու տարբեր միջավայրերի բաժանման սահմանին՝ փոխում է իր տարածման ուղղությունը, ամբողջությամբ կամ մասամբ մնալով նույն միջավայրում: Այս երևույթը կոչվում է ***լույսի անդրադարձում***:

Կախված միջավայրերի բաժանման սահմանի հատկություններից՝ անդրադարձման բնույթը կարող է տարբեր լինել: Եթե բաժանման մակերևույթի անհարթությունների բնորոշ l չափը շատ փոքր է լուսային ալիքի λ երկարությունից՝ $l << \lambda$, ապա մակերևույթի վրա ընկնող լույսի զուգահեռ ճառագայթներն անդրադառնալուց հետո տարածվում են իրար զուգահեռ (նկ. 128,*ա*): Այդպիսի անդրադարձումը կոչվում է ***հայելային***, իսկ մակերևույթը՝ ***հարթ հայելի***:

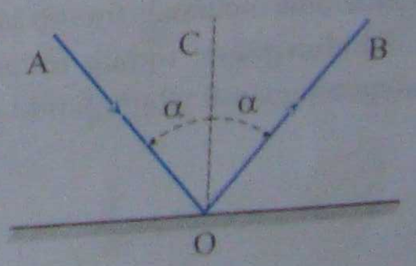
Հայելային մակերևույթին մոտ հատկություններ ունեն, օրինակ, լավ հղկված մետաղի մակերևույթը, հարթ ապակու մակերևույթը:

Այն դեպքում, երբ միջավայրերի բաժանման մակերևույթի անհարթությունների բնորոշ l չափը նույն կարգի է կամ մեծ լուսային ալիքի երկարությունից՝ $l \geq \lambda$, մակերևույթի վրա ընկնող զուգահեռ ճառագայթները ցրվում են բոլոր հնարավոր ուղղություններով (նկ. 128,*բ*): Այդպիսի անդրադարձումը կոչվում է ***ցրիվ (դիֆուզ) անդրադարձում***: Ցրիվ անդրադարձման շնորհիվ է, որ մենք տեսնում ենք այն առարկաները, որոնք լույս չեն առաքում:



Նկ. 128

Բազմաթիվ դիտումներն ու փորձերը ցույց են տալիս, որ լույսի անդրադարձման երևույթը ենթարկվում է որոշակի օրինաչափությունների, որոնց հիման վրա ձևակերպվում է անդրադարձման օրենքը: Դիցուք՝ AO-ն երկու միջավայրերի բաժանման սահմանի O կետում ընկնող ճառագայթն է (նկ. 129), OB-ն՝ անդրադարձած ճառագայթը, իսկ OC-ն՝ անկման կետում երկու միջավայրերի սահմանին տարված ուղղահայացը: Ընկնող ճառագայթի և այդ ուղղահայացի կազմած անկյունն անվանում են



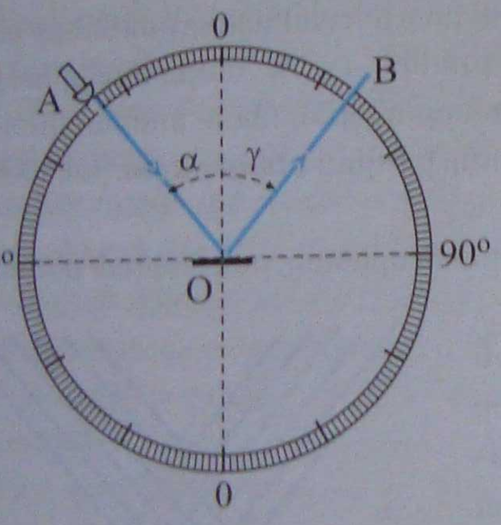
Նկ. 129

անկման անկյուն, իսկ նույն ուղահայացի և անդրադարձած ճառագայթի կազմած անկյունը՝ ***անդրադարձման անկյուն***: Օգտվելով այս հասկացություններից՝ կարող ենք ձևակերպել լույսի անդրադարձման օրենքը՝

1. ընկնող ճառագայթը, անդրադարձած ճառագայթը և անկման կետում երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին տարված ուղահայացը գտնվում են նույն հարթության մեջ.

2. անկման անկյան կամկացած արժեքի դեպքում անդրադարձման անկյունը հավասար է անկման անկյանը:

Լույսի անդրադարձման օրենքը կարելի է ստուգել օպտիկական սկավառակ կոչվող սարքի օգնությամբ (նկ. 130): Այն աստիճանավորված եզրով սկավառակ է, որի կենտրոնում կարելի է ամրացնել հարթ հայելի: Սկավառակի եզրագծով տեղաշարժվող լուսավորման հատուկ հարմարանքից լույսի նեղ փունջը տարբեր անկյունների տակ ուղղվում է հայելու մակերևույթի կենտրոնին: Փոխելով ճառագայթի անկման անկյունը $0 \div 90°$ միջույրում՝ ամեն անգամ կարող ենք համոզվել, որ ընկնող և անդրադարձած ճառագայթները գտնվում են սկավառակի հարթության մեջ, և անդրադարձման γ անկյունը հավասար է անկման α անկյանը:



Նկ. 130

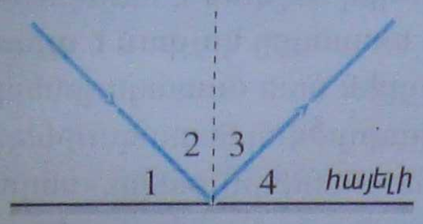
Լուսային ճառագայթն օժտված է մի կարևոր հատկությամբ, որը կոչվում է ***ճառագայթի շրջելիություն***: Անդրադարձման օրենքից հետևում է, որ եթե նկ. 130-ում պատկերված երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին ճառագայթ գցենք BO ուղղությամբ, ապա այն կանդրադառնա OA ուղղությամբ: Փորձում, եթե լույսի աղբյուրից ճառագայթներն ուղղենք O կետին BO ուղղությամբ, ապա կհամոզվենք, որ անդրադարձած ճառագայթները գնում են OA ուղղությամբ: Հետագայում մենք կտեսնենք, որ շրջելիության հատկությունը բնորոշ է ոչ միայն անդրադարձող, այլև լույսի համար թափանցիկ տարբեր միջավայրերով անցնող ճառագայթներին:

Մոտ 2000 տարի առաջ Հերոն Ալեքսանդրիացին ապացուցել է, որ հարթ հայելուց անդրադարձման ժամանակ աղբյուրից մինչև դիտման կետը հասնելը լուսային ճառագայթն ընտրում է այնպիսի ուղղություն, որ նրա անցած ճանապարհը լինի փոքրագույնը: Այս պնդումը կարելի է ապացուցել լույսի անդրադարձման օրենքի օգնությամբ:

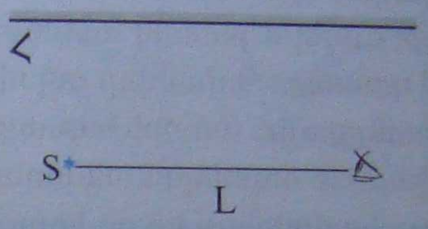
Նշենք նաև, որ անդրադարձած լույսի ուժգնությունը կախված է միջավայրերի բաժանման սահմանի նյութի ֆիզիկական հատկություններից: Գոյություն ունեն այնպիսի մակերևույթներ, որոնք ամբողջովին կլանում են լուսային էներգիան և դրանցից անդրադարձում տեղի չի ունենում: Այդպիսի մակերևույթները կոչվում են սև:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն է կոչվում լույսի անդրադարձում:*
2. *Ձևակերպե՛ք լույսի անդրադարձման օրենքը:*
3. *Ի՞նչ պայմանի դեպքում է անդրադարձումը հայելային:*
4. *Ի՞նչ պայմանի դեպքում է անդրադարձումը սրիվ:*
5. *Նկարում ո՞րն է անկման անկյունը և ո՞րը անդրադարձման անկյունը:*



6. *Ի՞նչ են հասկանում «ճառագայթի շրջելիության» ասելով:*
7. *Հայտնի է, որ լույսի S աղբյուրը և աչքը գտնվում են հարթ հայելուց հավասար իսկ միմյանցից L հեռավորության վրա: S աղբյուրից հարթ հայելու վրա ընկած ո՞ր ճառագայթը կընկնի աչքի վրա: Կարելի է օգտագործել Հերոն Ալեքսանդրիացու սկզբունքը: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*

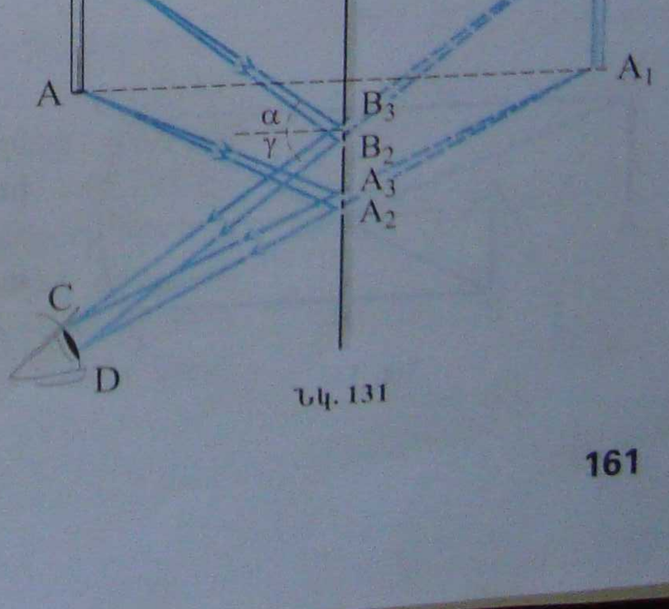


§ 72. Պատկերի կառուցումը հայելիներում

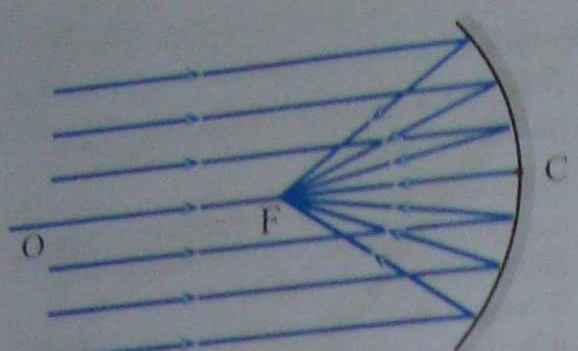
Պատկերի կառուցումը հարթ հայելում: Ցանկացած ողորկ, հարթ մակերևույթ իրենից ներկայացնում է հարթ հայելի:

Կառուցենք որևէ առարկայի, օրինակ՝ մոմի պատկերը հարթ հայելում (նկ.131): Մոմից առաքված ճառագայթները, ընկնելով հայելու վրա, դրանից անդրադառնում են, և դրանց մի մասն ընկնում է դիտողի աչքի մեջ: Այդպիսի 4 ճառագայթ է պատկերված նկարում (B_1C, B_1D, A_1C, A_1D): Դիտողին թվում է, թե աչքի մեջ ընկնող ճառագայթները գալիս են A_1B_1 տիրույթից: Իրականում B_1B_2, B_1B_3, A_1A_2, A_1A_3 ուղիղները B_2D, B_3C, A_2D, A_3C իրական ճառագայթների շարունակություններն են, հետևաբար՝ B_1 կետում չկա լույսի աղբյուր, և ուրեմն մոմի A_1B_1 պատկերը ***կեղծ է***:

Յույց տանք, որ մոմն ու նրա պատկերը գտնվում են հայելուց հավասար հեռավորությունների վրա: Իրոք, ըստ անդրադարձման օրենքի, անկման և անդրադարձման անկյունները հավասար են՝ $\alpha = \gamma$, $\angle BC_1B_2 = \angle B_1C_1B_2 = 90°$, և C_1B_2 կողմն ընդհանուր է, ապա $\Delta BB_2C_1 = \Delta B_1B_2C_1$, որտեղից հետևում է, որ $BC_1 = B_1C_1$, այսինքն՝ պատկերը հայելուց հեռացված է նույն չափով, ինչ չափով հեռացված է առարկան՝ մոմը: Մյուս կողմից, AA_1 և BB_1 ուղիղները միմյանց զուգահեռ են, հետևաբար՝ հավասար են նաև մոմի և նրա պատկերի չափերը՝ $AB = A_1B_1$: Այսպիսով, հարթ հայելում առարկայի պատկերը ստացվում է կեղծ և չափերով առարկային հավասար: Պատկերը գտնվում է հայելու



Նկ. 131



Նկ. 132

եռում, առարկայից հայելի հեռավորությանը հավասար հեռավորության վրա:

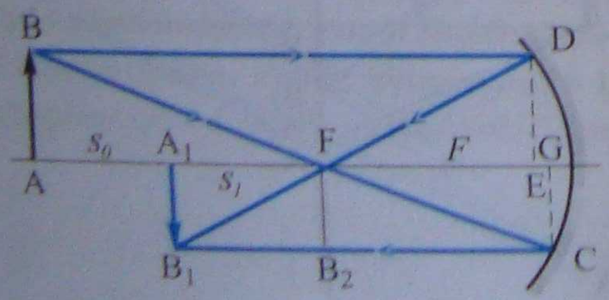
Պատկերի կառուցումը գնդային հայելում*:** ***Գնդային հայելի է կոչվում գնդային սեգմենտի հայելային մակերևույթը: Երբ լույսն անդրադառնում է սեգմենտի ներքին մակերևույթից, ապա հայելին կոչում են գոգավոր, իսկ երբ արտաքին մակերևույթից՝ ուռուցիկ: Գնդի կենտրոնը, որից կտրված է գնդային սեգմենտը, կոչվում է հայելու ***օպտիկական կենտրոն*** (նկ. 132, O կետը), իսկ սեգմենտի գագաթը՝ ***հայելու բևեռ*** (նկ.132, C կետը): Հայելու օպտիկական կենտրոնով անցնող ցանկացած ուղիղ կոչվում է հայելու ***օպտիկական առանցք***: Հայելու բևեռով անցնող օպտիկական առանցքը կոչվում է ***գլխավոր օպտիկական առանցք***: Գլխավոր օպտիկական առանցքին մոտ ճառագայթները կոչվում են մերձառանցքային (ստորև ենթադրվում է, որ օգտագործվող ճառագայթները մերձառանցքային են): Գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ ճառագայթները, անդրադառնալով հայելուց, հավաքվում են մի կետում, որը կոչվում է հայելու ***գլխավոր կիզակետ*** (F):

Ճառագայթների շրջելիության հատկությունն օգտագործվում է լուսարձակներում: Լուսարձակի հայելային մակերևույթի գլխավոր կիզակետում տեղադրված ուժեղ լույսի աղբյուրից ճառագայթներն ընկնում են հայելու վրա և անդրադառնում նրանից զուգահեռ փնջի տեսքով: Իսկապես, եթե նկ.132-ում F կիզակետում տեղավորենք լույսի աղբյուր և սլաքների ուղղությունը փոխենք, ապա կստանանք գոգավոր հայելուց անդրադարձած զուգահեռ փունջ:

Գնդային հայելում առարկայի պատկերը կառուցելու համար բավական է դիտարկել երկու ճառագայթ, օրինակ՝ գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ և կիզակետով անցնող ճառագայթները: Դիտարկենք այն դեպքը, երբ առարկան գտնվում է կիզակետից դեպի ձախ: Այդ դեպքում առարկայի պատկերը գնդային հայելում ունի նկ.133-ում բերված տեսքը:

Առարկայի պատկերն իրական է և շրջված: Առարկայի հեռավորությունը կիզակետից նշանակենք s_0-ով, պատկերի հեռավորությունը կիզակետից՝ s_1-ով: ABF և FB_2C եռանկյունների նմանությունից հետևում է, որ $AB/FB_2 = s_0/F$ (համարում ենք, որ գնդային հայելու գոգավորությունը շատ մեծ չէ, այսինքն՝ ընդունում ենք, որ $FG \approx F$): Մյուս կողմից, նման են նաև A_1B_1F և FDE եռանկյունները: Այստեղից՝ $DE/A_1B_1 = F/s_1$: Նրանից ընդունում ենք, որ $FE \approx F$: Այս արտահայտություններից գտնում ենք գնդային հայելու բանաձևը՝

$$s_0 s_1 = F^2; \qquad (7.1)$$



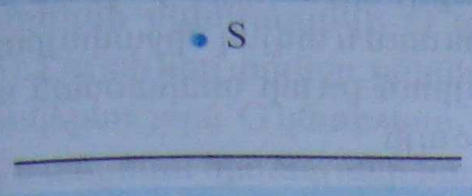
Նկ. 133

Եթե առարկայի հեռավորությունը հայելուց նշանակենք d-ով, իսկ պատկերի հեռավորությունը հայելուց՝ f-ով, և հաշվի առնենք, որ $s_0 = d - F$, իսկ $s_1 = f - F$, ապա (7.1) բանաձևից կստանանք՝

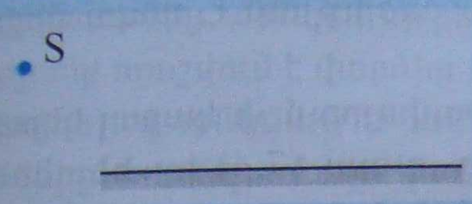
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \qquad (7.2)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

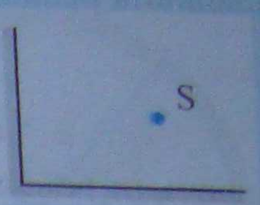
1. *Տարբերվո՞մ են արդյոք հարթ հայելում պատկերի չափերն առարկայի չափերից:*
2. *Կառուցե՛ք S կետի պատկերը հարթ հայելում:*



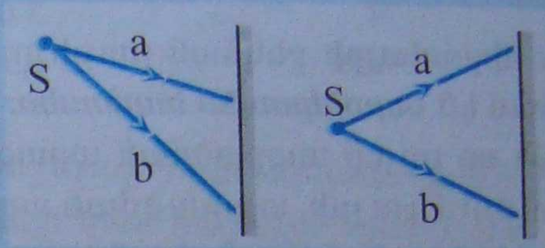
3. *Կառուցե՛ք S կետի պատկերը հարթ հայելում:*



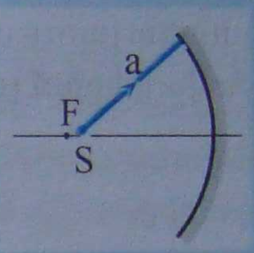
4. *Հարթ հայելուց ի՞նչ հեռավորության վրա, որտե՞ղ և ինչպիսի՞ն է ստացվում լույսի կետային աղբյուրի պատկերը:*
5. *Քանի՞ ճառագայթ կարող է ընկնել հայելու վրա մի կետում նույն անկյան տակ:*
6. *Նշե՛ք լույսի կետային S աղբյուրի (առաջին) պատկերները երկու փոխուղղահայաց հայելիներում:*



7. *Շարունակե՛ք նկարներում պատկերված a և b ճառագայթների ընթացքը և ստացե՛ք կետի պատկերը հարթ հայելում: Կե՞ղծ է այն, թե՞ իրական:*



8. *Կառուցե՛ք a ճառագայթի ընթացքը գնդային հայելում:*



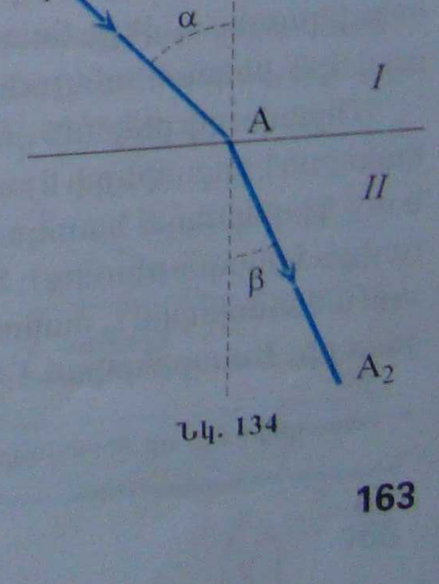
§ 73. Լույսի բեկումը

Լույսի փունջը, հասնելով երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին, նրանից անդրադառնում է՝ իր հետ տանելով լուսային էներգիայի մի մասը: Եթե երկրորդ միջավայրը թափանցիկ է, ապա լուսային էներգիայի մյուս մասը (եթե լույսի կլանումն անտեսում ենք) կարող է անցնել երկրորդ միջավայր՝ սահմանի վրա, որպես կանոն, կտրուկ փոխելով տարածման ուղղությունը: Այդ երևույթը կոչվում է ***լույսի բեկում***: Նկ.134-ում A_1A-ն երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին ***ընկնող ճառագայթն*** է, իսկ AA_2-ը՝ ***բեկված ճառագայթը***: Անկման կետում միջավայրերի բաժանման սահմանին տարած ուղղահայացի և ընկնող ճառագայթի կազմած անկյունը կոչվում է ***անկման անկյուն***, իսկ նույն ուղղահայացի և բեկված ճառագայթի կազմած անկյունը՝ ***բեկման անկյուն***:

Բեկման օրենքը հայտնաբերել է հոլանդացի գիտնական Վ.Սնելիուսը 1621թ.: Այն ձևակերպվում է հետևյալ կերպ՝

1. ընկնող ճառագայթը, բեկված ճառագայթը և անկման կետում երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին տարված ուղղահայացը գտնվում են նույն հարթության մեջ,

2. անկման անկյան սինուսի հարաբերությունը բեկման անկյան սինուսին հաստատուն մեծություն է տվյալ երկու միջավայրերի համար:



Նկ. 134

Եթե անկման անկյունը նշանակենք α-ով, իսկ բեկման անկյունը՝ β-ով, ապա, համաձայն բեկման օրենքի՝

$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{n_2}{n_1}}, \qquad (7.3)$$

որտեղ n_1 (n_2) մեծությունը կոչվում է առաջին (երկրորդ) միջավայրի ***բեկման ցուցիչ***:

Միջավայրի բեկման ցուցիչ անվանում են վակուումում և տվյալ միջավայրում լույսի արագությունների հարաբերությունը: Եթե միջավայրում լույսի տարածման արագությունը նշանակենք v-ով, ապա, սահմանման համաձայն՝

$$\boxed{n=\frac{c}{v}}: \qquad (7.4)$$

Եթե միջավայրի բեկման ցուցիչը հաստատուն մեծություն է, ապա միջավայրն անվանում են ***օպտիկապես համասեռ:***

Քանի որ լույսի տարածման արագությունը միջավայրում չի կարող գերազանցել վակուումում լույսի տարածման արագությունը, ապա (7.4)-ից հետևում է, որ $n\geq 1$ (հավասարման նշանը համապատասխանում է վակուումի դեպքին): (7.3) և (7.4) արտահայտություններից՝ անկման և բեկման անկյունները կապված են երկու միջավայրերում լույսի տարածման արագությունների հետ՝

$$\boxed{\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{v_1}{v_2}}: \qquad (7.5)$$

Առանձնակի հետաքրքրություն է ներկայացնում մակերևույթին ուղղահայաց ընկնող ճառագայթի դեպքը, երբ $\alpha=0$: Այս դեպքում բեկման անկյունը նույնպես հավասար է զրոյի, քանի որ, համաձայն (7.3) բանաձևի՝

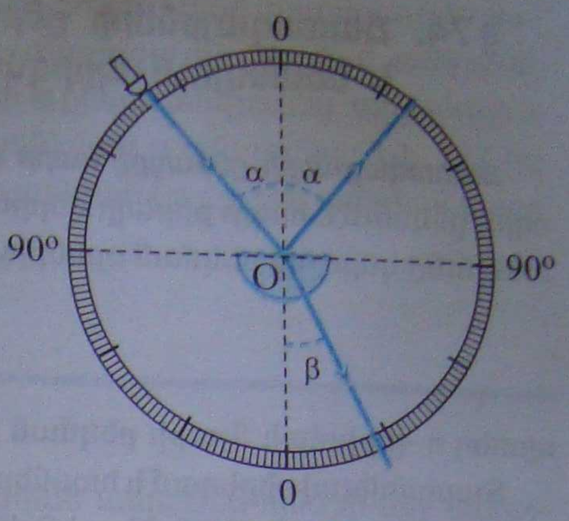
$$\sin\beta=\frac{n_1}{n_2}\sin\alpha=0, \quad \beta=0:$$

Ընդունված է ավելի փոքր բեկման ցուցիչ ունեցող միջավայրն անվանել ***օպտիկապես ավելի նոսր***, իսկ ավելի մեծ բեկման ցուցիչ ունեցողը՝ ***օպտիկապես ավելի խիտ*** միջավայր: Այսպիսով, եթե լույսն անցնում է օպտիկապես նոսր միջավայրից օպտիկապես ավելի խիտ միջավայր, այսինքն՝ $n_2>n_1$, ապա $\sin\beta<\sin\alpha$ և $\beta<\alpha$, այսինքն՝ բեկման անկյունը փոքր է անկման անկյունից: Դիտարկված դեպքը համապատասխանում է լույսի անցմանը, օրինակ, վակուումից կամ օդից ապակու կամ ջրի մեջ: Հակառակ դեպքում, երբ լույսն օպտիկապես խիտ միջավայրից անցնում է օպտիկապես ավելի նոսր միջավայր, այսինքն՝ $n_2<n_1$, ապա $\sin\beta>\sin\alpha$ և $\beta>\alpha$, այսինքն՝ բեկման անկյունը մեծ է անկման անկյունից:

Միջավայրի բեկման ցուցիչը կախված չէ անկման կամ բեկման անկյուններից *, այն կախված է միջավայրի նյութի խտությունից, ջերմաստիճանից, ագրեգատային վիճակից և այլ ֆիզիկական հատկություններից: Բեկման ցուցիչը կախված է նաև լույսի գույնից (ալիքի երկարությունից): Տեսանելի ճառագայթման տիրույթում կարմիր լույսի համար այն ամենափոքրն է, մանուշակագույն լույսի համար՝ ամենամեծը: Օդի բեկման ցուցիչը շատ քիչ է տարբերվում 1-ից, ուստի հաշվարկներում այն փոխարինվում է 1-ով:

* Ենթադրվում է, որ միջավայրն իզոտրոպ է:

Ինչպես անդրադարձման օրենքը, բեկման օրենքը ևս կարելի է ստուգել օպտիկական սկավառակի միջոցով: Դրա համար բափանցիկ կիսագլանն ամրացնում են սկավառակի վրա այնպես, որ կիսագլանի հարթ մակերևույթի միջին մասը համընկնի սկավառակի O կենտրոնի հետ (նկ. 135): Լույսի նեղ փունջը, ընկնելով կիսագլանի հարթ մակերևույթին՝ O կետի վրա, բեկվում է β անկյունով և անցնում կիսագլանի հատույթի շառավղի երկայնքով: Կիսագլանի մակերևույթին այն ընկնում է 0° անկյան տակ և առանց բեկվելու՝ դուրս է գալիս կիսագլանից, այնպես, որ բեկման անկյունը հեշտությամբ որոշվում է փորձից (նկ. 135):

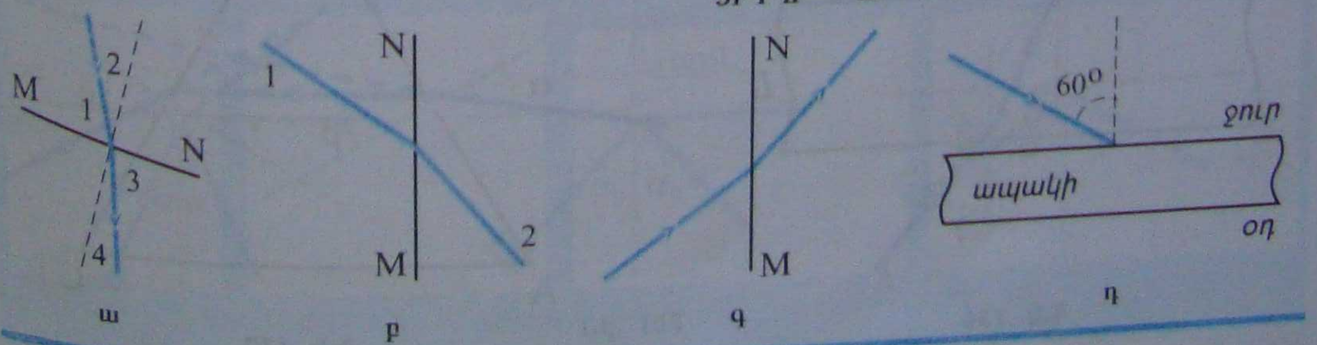


Նկ. 135

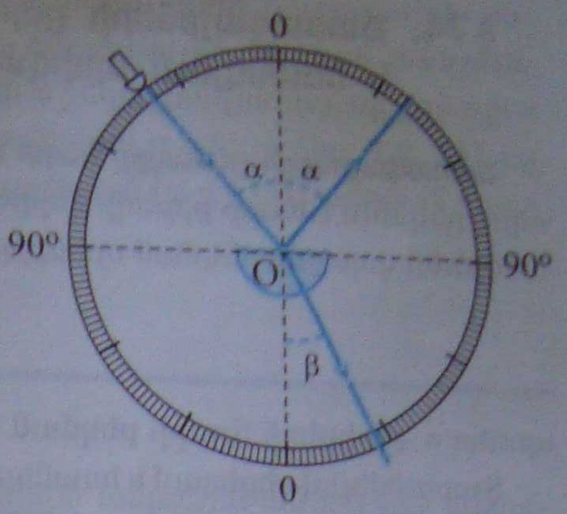
Փոփոխելով անկման α անկյունը և որոշելով համապատասխան բեկման անկյունները՝ եռանկյունաչափական աղյուսակի կամ հաշվիչի օգնությամբ հեշտ է համոզվել, որ անկման անկյան սինուսի և բեկման անկյան սինուսի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է: Բեկման օրենքի օգնությամբ կարելի է ապացուցել, որ ընկնող և բեկվող ճառագայթները նույնպես փոխադարձաբար շրջելի են: Եթե լուսային ճառագայթը II միջավայրից β անկյան տակ գցենք միջավայրերի բաժանման սահմանին, ապա բեկման օրենքից կհետևի, որ այն I միջավայր կանցնի՝ բեկվելով α անկյան տակ (նկ. 135): Այս փաստը նույնպես կարելի է ստուգել օպտիկական սկավառակի օգնությամբ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում լույսի բեկում:*
2. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում միջավայրի բեկման ցուցիչ:*
3. *Ձևակերպե՛ք լույսի բեկման օրենքը:*
4. *Ի՞նչ բանաձևով է տրվում բեկման օրենքը:*
5. *Ինչի՞ է հավասար բեկման անկյունը, եթե լույսի ճառագայթն ընկնում է երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին ուղղահայաց:*
6. *Կարո՞ղ է արդյոք միջավայրի բեկման ցուցիչը 1-ից փոքր լինել: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
7. *Նկ. ա-ում ցո՛ւյց տվեք անկման և բեկման անկյունները:*
8. *Նկ. բ-ում բերված է լույսի ճառագայթի անցումն օդից ապակի: Ո՞ր միջավայրն է ապակին:*
9. *Նկ. գ-ում բերված դեպքում ի՞նչ կարելի է ասել բեկման ցուցիչների հարաբերության մասին: Այն 1-ից մե՞ծ է, թե՞ փոքր:*
10. *Կառուցե՛ք նկ. դ-ում պատկերված ճառագայթի ընթացքն ապակում և օդում:*
11. *Ինչու՞ բեկման օրենքը ստուգելիս օպտիկական սկավառակի կենտրոնում բափանցիկ կիսագլան է դրվում:*



Ինչպես անդրադարձման օրենքը, բեկման օրենքը ևս կարելի է ստուգել օպտիկական սկավառակի միջոցով: Դրա համար բափանցիկ կիսագլանն ամրացնում են սկավառակի վրա այնպես, որ կիսագլանի հարթ մակերևույթի միջին մասը համընկնի սկավառակի O կենտրոնի հետ (նկ. 135): Լույսի նեղ փունջը, ընկնելով կիսագլանի հարթ մակերևույթին՝ O կետի վրա, բեկվում է β անկյունով և անցնում կիսագլանի հատույթի շառավղի երկայնքով: Կիսագլանի մակերևույթին այն ընկնում է 0° անկյան տակ և առանց բեկվելու՝ դուրս է գալիս կիսագլանից, այնպես, որ բեկման անկյունը հեշտությամբ որոշվում է փորձից (նկ. 135):

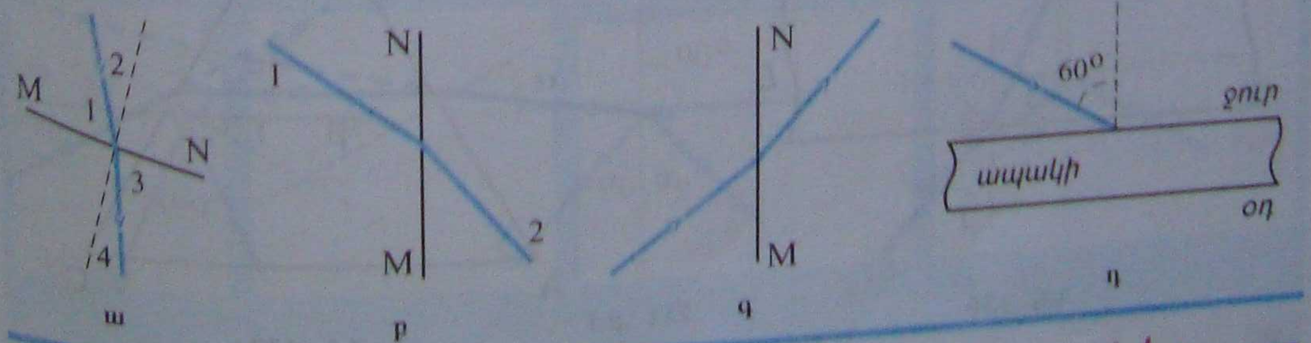


Նկ. 135

Փոփոխելով անկման α անկյունը և որոշելով համապատասխան բեկման անկյունները՝ եռանկյունաչափական աղյուսակի կամ հաշվիչի օգնությամբ հեշտ է համոզվել, որ անկման անկյան սինուսի և բեկման անկյան սինուսի հարաբերությունը հաստատուն մեծություն է: Բեկման օրենքի օգնությամբ կարելի է ապացուցել, որ ընկնող և բեկվող ճառագայթները նույնպես փոխադարձաբար շրջելի են: Եթե լուսային ճառագայթը II միջավայրից β անկյան տակ գցենք միջավայրերի բաժանման սահմանին, ապա բեկման օրենքից կհետևի, որ այն I միջավայր կանցնի՝ բեկվելով α անկյան տակ (նկ. 135): Այս փաստը նույնպես կարելի է ստուգել օպտիկական սկավառակի օգնությամբ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում լույսի բեկում:*
2. *Ո՞ր մեծությունն է կոչվում միջավայրի բեկման ցուցիչ:*
3. *Ձևակերպե՛ք լույսի բեկման օրենքը:*
4. *Ի՞նչ բանաձևով է տրվում բեկման օրենքը:*
5. *Ինչի՞ է հավասար բեկման անկյունը, եթե լույսի ճառագայթն ընկնում է երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին ուղղահայաց:*
6. *Կարո՞ղ է արդյոք միջավայրի բեկման ցուցիչը 1-ից փոքր լինել: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
7. *Նկ. ա-ում ցո՛ւյց տվեք անկման և բեկման անկյունները:*
8. *Նկ. բ-ում բերված է լույսի ճառագայթի անցումն օդից ապակի: Ո՞ր միջավայրն է ապակին:*
9. *Նկ. գ-ում բերված դեպքում ի՞նչ կարելի է ասել բեկման ցուցիչների հարաբերության մասին: Այն 1-ից մե՞ծ է, թե՞ փոքր:*
10. *Կառուցե՛ք նկ. դ-ում պատկերված ճառագայթի ընթացքն ապակում և օդում:*
11. *Ինչու՞ բեկման օրենքը ստուգելիս օպտիկական սկավառակի կենտրոնում բափանցիկ կիսագլան է դրվում:*



§ 74. Ճառագայթների ընթացքը հարթ զուգահեռ թիթեղում և եռանկյուն պրիզմայում

Ճառագայթների ընթացքը հարթ զուգահեռ թիթեղում: Ենթադրենք՝ լույսի ճառագայթն օդից ընկնում է հարթ թիթեղի վերին մակերևույթին α անկյան տակ և բեկվում: Բեկման անկյունը կորոշվի բեկման օրենքից՝

$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n},$$

որտեղ n -ը թիթեղի նյութի բեկման ցուցիչն է (նկ.136):

Տարածվելով թիթեղում և հասնելով թիթեղի ստորին մակերևույթին՝ ճառագայթը նորից կբեկվի, ընդ որում, բեկման օրենքից՝

$$\sin\gamma = n\sin\beta = n\frac{\sin\alpha}{n} = \sin\alpha,$$

այսինքն՝ $\gamma = \alpha$:

Այսպիսով՝ կրկնակի բեկված ճառագայթը հարթ թիթեղից դուրս է գալիս ընկնող ճառագայթին զուգահեռ, սակայն՝ սկզբնական ուղղությունից d չափով շեղված: d-ն կախված է թիթեղի L հաստությունից, անկման անկյունից և թիթեղի նյութի n բեկման ցուցիչից: Անկման փոքր անկյունների համար, երբ $\sin\alpha \approx \alpha$, այն ունի հետևյալ տեսքը՝

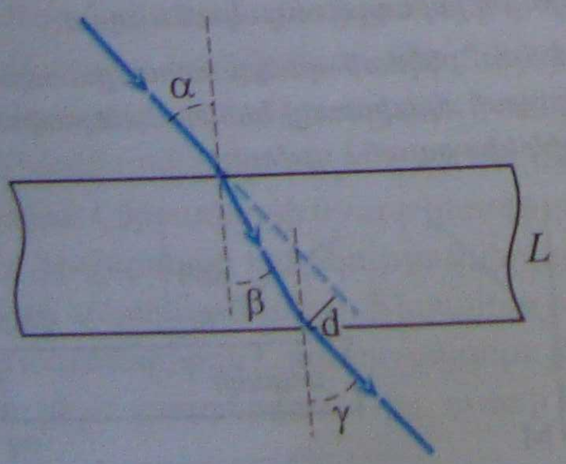
$$d = L\alpha\left(1 - \frac{1}{n}\right):$$

Ճառագայթների ընթացքը եռանկյուն պրիզմայում: Ճառագայթը, օդից ընկնելով n բեկման ցուցչով եռանկյուն պրիզմայի AB նիստին (նկ.137-ում պատկերված է եռանկյուն պրիզմայի հատույթը, φ-ն պրիզմայի բեկող անկյունն է), բեկվում է, շեղվելով դեպի պրիզմայի հիմքը, ընդ որում, բեկման անկյան սինուսը՝

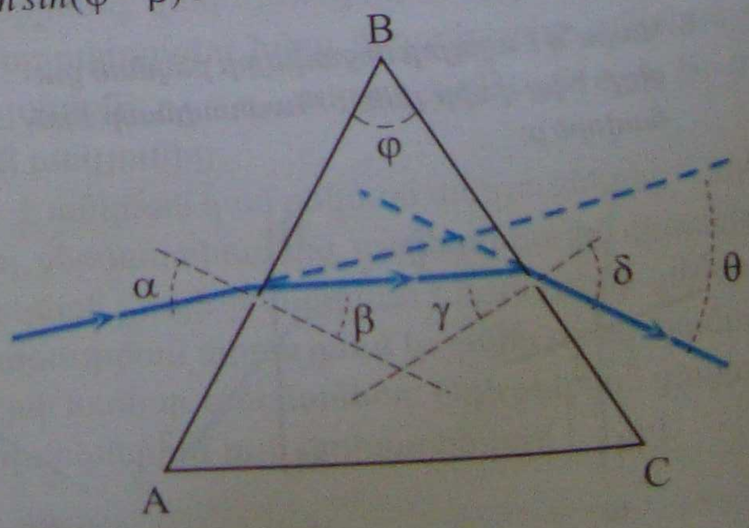
$$\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n}:$$

Երկրորդ անգամ բեկվելով BC նիստի վրա՝ ճառագայթը նորից շեղվում է դեպի պրիզմայի հիմքը: Բեկման անկյունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sin\delta = n\sin(\varphi - \beta):$$



Նկ. 136



Նկ. 137

Պրիզմայի միա ըսկեցող ճառագայթով և նրանից դուրս եկած ճառագայթների փոխադարձ կազմած θ անկյունը է՝ **ճառագայթի շեղման անկյուն:** Ճառագայթի շեղման անկյան φ կախումը անկյան չափից ցույց է տրված (նրբ պրիզմայի դեպքում՝ ասենք φ փոքր անկյունների դեպքում) և անկման α անկյունից, պրիզմայի n բեկման ցուցչից (նրբ պրիզմայի դեպքում տեսքուստ է օրսրց): Կենսան հետևում է, որ $\theta = \alpha + \beta - \varphi$: Պրիզմայի փոքր բեկող անկյան ($\varphi << 1$) և անկման փոքր ($\alpha << 1$) դեպքում՝

$$\theta = (n-1)\varphi :$$

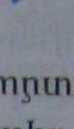
§ 75. Լույսի լրիվ ազդարարումը

Լույսի լրիվ ազդարարման երևույթը: Չորսի լցված ապակյա ացորի մեջ տեղադրած լույսի աղբյուր, որն արձակում է լույսի մեկ փունջ (նկ.138): Ջուր-օդ սահմանի լույսը ճառագայթները կազմում են ճառագայթ կրկնվի, ըստ որում, բեկման ազդարարման անկյունից մեծ կլինի, քան որ օպտիկապես խիտ միջավայրից (ջրից) լույսը ացելու է օպտիկապես ցոսր միջավայր (օդ): Ընտ բեկման օրենքի՝

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n} \quad \text{կամ} \quad \sin\beta = n\,\sin\alpha\,,$$

այսինքն՝ $\beta > \alpha$, որտեղ n -ը ջրի բեկման ցուցիչն է ($n = 1{,}33$):

Կենման α անկյան մեծացման հետ մեծանում է նաև բեկման անկյունը, ըստ որում՝ բեկիչ միջոց էներգիան ճիագրում է, ազդարարման ժամանակ β անկյունը ձգտում է $\pi/2$-ի, իսկ բեկման անկյան α որոշ α_0 անկյան դեպքում՝



Պրիզմայի վրա ընկնող ճառագայթով և նրանից դուրս եկած ճառագայթի շարունակությամբ կազմված θ անկյունը կոչվում է ***ճառագայթի շեղման անկյուն:*** Ճառագայթի շեղման անկյունը կախված է պրիզմայի φ բեկող անկյունից, պրիզմայի n բեկման ցուցչից (եթե պրիզման գտնվում է օդում) և անկման α անկյունից: Նկ. 137-ից հետևում է, որ $\theta = \alpha + \delta - \varphi$: Պրիզմայի փոքր բեկող անկյան ($\varphi << 1$) և անկման փոքր անկյան ($\alpha << 1$) դեպքում՝

$$\theta = (n-1)\varphi :$$

§ 75. Լույսի լրիվ անդրադարձումը

Լույսի լրիվ անդրադարձման երևույթը: Ջրով լցված ապակյա անոթի մեջ տեղավորենք լույսի աղբյուր, որն արձակում է լույսի նեղ փունջ (նկ.138): Ջուր-օդ սահմանին լույսը մասամբ կանդրադառնա և մասամբ կբեկվի, ընդ որում, բեկման անկյունն անկման անկյունից մեծ կլինի, քանի որ օպտիկապես խիտ միջավայրից (ջրից) լույսն անցնում է օպտիկապես նոսր միջավայր (օդ): Ըստ բեկման օրենքի՝

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n} \quad \text{կամ} \quad \sin\beta = n\ \sin\alpha ,$$

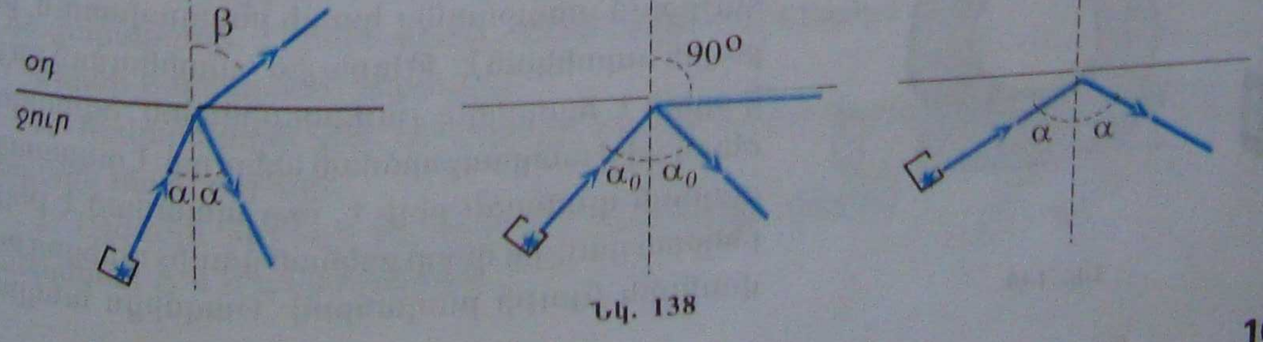
այսինքն՝ $\beta > \alpha$, որտեղ n -ը ջրի բեկման ցուցիչն է ($n = 1{,}33$):

Անկման α անկյան մեծացման հետ մեծանում է նաև բեկման անկյունը, ընդ որում՝ բեկված փնջի էներգիան նվազում է, անդրադարձած փնջինը՝ աճում: Երբ α անկյունը ձգտում է մի որոշ α_0 անկյան, բեկման β անկյունը ձգտում է $\pi/2$-ի, իսկ բեկված փնջի էներգիան ձգտում է զրոյի (այսինքն՝ սահմանային դեպքում բեկված փունջ չկա): Անկման ավելի մեծ անկյունների դեպքում լույսի բեկում տեղի չի ունենում, և լույսն անդրադառնում է՝ իր հետ տանելով ընկնող լուսային փնջի ամբողջ էներգիան:

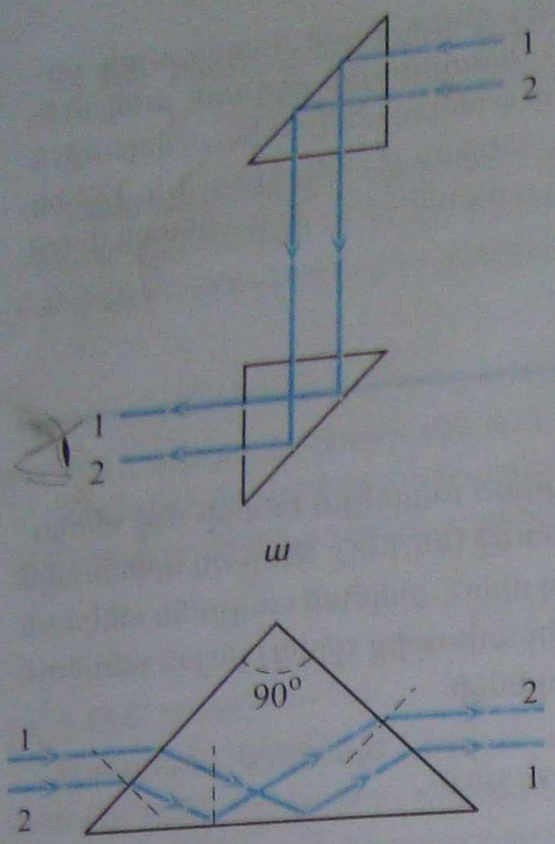
Այդ երևույթը կոչվում է ***լույսի լրիվ անդրադարձում:*** Իսկ այն ամենափոքր անկման անկյունը, որի դեպքում տեղի է ունենում լույսի լրիվ անդրադարձում, կոչվում է ***լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյուն:*** Այդ անկյունը կարելի է գտնել լույսի բեկման օրենքից՝ դրա մեջ տեղադրելով $\beta = 90°$, այսինքն՝

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n} : \qquad (7.6)$$

Տարբեր նյութերի զույգերի համար այդ անկյունն ունի տարբեր արժեքներ՝ ջրի համար (օդի կամ վակուումի նկատմամբ) $\alpha_0 = 49°$, ապակու տարբեր տեսակների համար (օդի կամ վակուումի նկատմամբ) $\alpha_0 = 32° \div 42°$:



Նկ. 138



ա

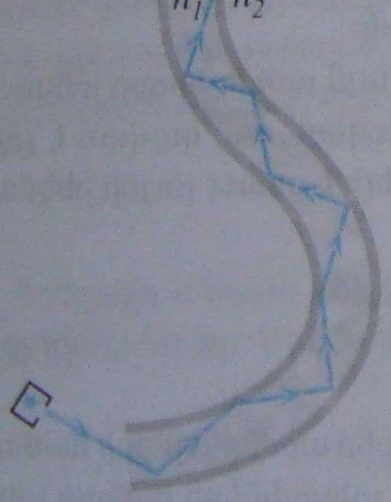
բ

Նկ. 139

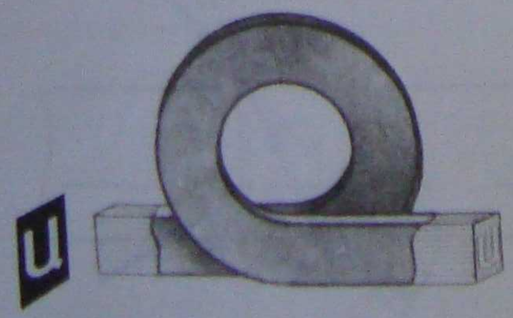
Լույսի լրիվ անդրադարձման երևույթը կարելի է դիտել նաև տնային պայմաններում: Եթե ապակե բաժակի մեջ ջուր լցնենք և բաժակը բարձրացնենք մեր աչքերի մակարդակից քիչ վեր, ապա ներքևից բաժակի պատի միջով նայելիս ջրի մակերևույթն արծաթագօծ կերևա, ինչը հետևանք է լույսի լրիվ անդրադարձման:

Կիրառությունները*: Լույսի լրիվ անդրադարձման երևույթն ունի բազմաթիվ կիրառություններ: Այն կիրառվում է շրջադիտակներում (պերիսկոպներում) և հեռադիտակներում: Շրջադիտակներում տեղի է ունենում լույսի կրկնակի շրջում, ինչպես ցույց է տրված նկ. 139,ա-ում:

1 և 2 ճառագայթներն ընկնում են հավասարասրուն ուղղանկյուն եռանկյուն պրիզմայի նիստին $\alpha = 0$ անկյան տակ և առանց փոխելու տարածման ուղղությունը թափանցում են պրիզմայի մեջ: Այնուհետև ճառագայթն ընկնում է պրիզմայի մյուս նիստին (նկարում՝ եռանկյան ներքնաձիգին) 45° անկյան տակ, և, քանի որ ապակու լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյունը՝ $\alpha_0 \approx 42°$ և փոքր է 45°-ից, տեղի է ունենում լույսի լրիվ անդրադարձում: Անդրադարձման անկյունը՝ $\gamma = \alpha = 45°$, ուստի լույսի ճառագայթներն ընկնում են պրիզմայի երրորդ նիստին նորից 0° անկյան տակ և առանց փոխելու տարածման ուղղությունը անցնում օդային միջավայր: Արդյունքում ճառագայթները շրջվում են 90°-ով: Այնուհետև նույնը տեղի է ունենում 2-րդ պրիզմայում: Սուզանավում գտնվող դիտորդը նման ձևով տեսնում է, թե ինչ է կատարվում ջրի մակերևույթին:



ա



բ

Նկ. 140

Լույսի լրիվ անդրադարձումը թույլ է տալիս նաև շրջել պատկերը (ճառագայթների տեղերը փոխել), ինչպես ցույց է տրված նկ. 139,բ-ում:

Թելքային օպտիկա: Լրիվ անդրադարձման երևույթի մյուս կիրառությունը, որը կարող է հեղաշրջում առաջացնել կապի բնագավառում, թելքային օպտիկան է: Թելքային օպտիկայում լույսը կարելի է հաղորդել լուսատարներով՝ օգտագործելով լրիվ անդրադարձման երևույթը: Լուսատարն ապակե գլանաձև թելք է, որը պատված է թելքի բեկման ցուցչից փոքր բեկման ցուցիչ ունեցող թափանցիկ նյութի թաղանթով: Բազմիցս անդրա-

դառնալով՝ լույսը տարածվում է լուսատարով, անկախ այն բանից՝ լուսատարն ունի՞ դեբե՞ կոր տեսք ունի (նկ. 140,ա):

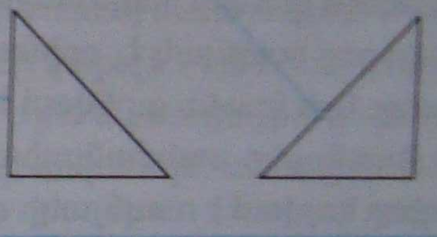
Ժամանակակից լուսատարներն ունեն շատ փոքր տրամագիծ: Այդ լուսատարներից խուրձ են կազմում՝ խրձում ընդգրկելով միևչև տասնյակ հազարավոր լուսատարներ: Խրձում յուրաքանչյուր լուսատարով հաղորդվում է պատկերի մի տարր, իսկ խուրձը հաղորդում է ամբողջական պատկերը (նկ. 140,բ):

Մոտ ապագայում հեռուստատեսային կապը հնարավոր կլինի իրականացնել լուսատարներով՝ լույսի միջոցով հաղորդելով պատկերներ: Այլևս հարկ չի լինի պատկերը հաղորդել ռադիոալիքների միջոցով:

Թելքային օպտիկան նորանոր կիրառություններ է գտնում տեխնիկայում և բժշկության մեջ: Մարդու ներքին օրգանների, մասնավորապես, ստամոքսի հետազոտման համար օգտագործում են թելքային ստամոքսադիտակ (գաստրոսկոպ)՝ բաղկացած երկու լուսատարից: Լուսատարները կերակրափողով իջեցվում են ստամոքս, մի լուսատարով լուսավորում են ստամոքսը, մյուսով՝ դիտում այն:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն է կոչվում լույսի լրիվ անդրադարձում:*
2. *Ո՞ր անկյունն է կոչվում լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյուն:*
3. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյունը:*
4. *Հնարավո՞ր է արդյոք լրիվ անդրադարձում, երբ լույսն օպտիկապես նոսր միջավայրից ընկնում է այն օպտիկապես խիտ միջավայրից բաժանող սահմանին: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
5. *Գծե՛ք հավասարասրուն ուղղանկյուն եռանկյուն ապակե պրիզմայի հիմքին ուղղահայաց ընկնող ճառագայթի ընթացքը, եթե ապակի-միջավայր սահմանին լույսի լրիվ անդրադարձման անկյունը հավասար է 42°: Դիտարկե՛ք երկու դեպք (տե՛ս նկարը):*



§76. Լաբորատոր աշխատանք N7. Ապակու բեկման ցուցչի որոշումը

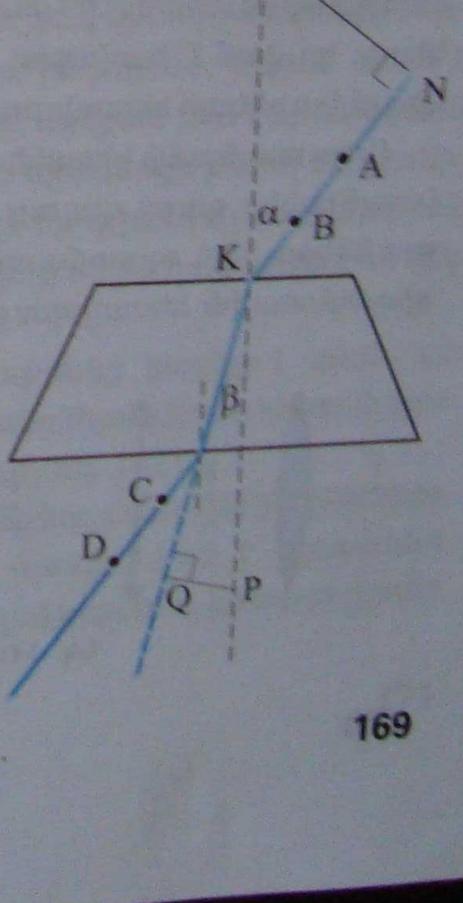
Աշխատանքի նպատակը. Որոշել ապակու բեկման ցուցչի արժեքը:

Չափամիջոց. 1.եռանկյուն քանոն, 2.միլիմետրական բաժանումներով քանոն (50 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1.ապակե թիթեղ (1սմ×5սմ×10սմ), 2.ստվարաթուղթ, 3.գրելու թուղթ, 4.մեծ գնդասեղ (4 հատ):

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ստվարաթղթի վրա դնել գրելու թուղթը և նրա վրա՝ ապակե հարթ թիթեղը:
2. Ապակե թիթեղի մի կողմում ուղղաձիգ դիրքով ամրացնել A և B գնդասեղները:



3. C և D գնդասեղներն ապակու մյուս կողմում դասավորել այնպես, որ D կետից նայելիս բոլոր գնդասեղները երևան մի ուղղի վրա:

4. Մատիտով գծել ապակյա բիթեղի եզրագիծը և նշել գնդասեղների ամրացման A, B, C, D կետերը:

5. Թղթի վրայից հանել ապակե բիթեղն ու գնդասեղները և քանոնով ու եռանկյուն քանոնով կատարել բերված գծագիրը, որտեղ MK = KP:

6. Օգտվելով $n = sin\alpha/sin\beta$ բանաձևից՝ հաշվել ապակու բեկման ցուցիչը: Այդ նպատակով MNK եռանկյունից գտնել $sin\alpha = MN/NK$, իսկ ΔKPQ-ից՝ $sin\beta = PQ/KP$ այնուհետև բաժանել միմյանց վրա՝

$$\frac{sin\alpha}{sin\beta} = n = \frac{MN}{MK} \cdot \frac{KP}{QP} = \frac{MN}{PQ}:$$

§ 77. Ոսպնյակներ

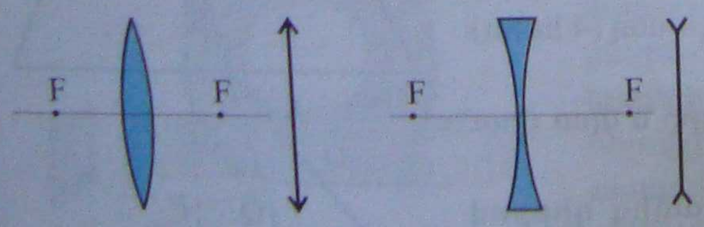
Ոսպնյակներ: ***Ոսպնյակները թափանցիկ, գնդային մակերևույթներով սահմանափակված մարմիններ են,*** որոնց միջոցով կարելի է կառավարել լուսային փնջերը: Դրանք կիրառվում են այնպիսի սարքերում, ինչպիսիք են՝ խոշորացույցը, լուսարձակը, հեռադիտակը, մանրադիտակը, լուսանկարչական ապարատը և այլն:

Ոսպնյակներին դուք ծանոթ եք ֆիզիկայի VIII դասարանի դասընթացից, ուստի մենք այստեղ միայն հակիրճ կնկարագրենք ոսպնյակների հիմնական հատկությունները:

Ոսպնյակները լինում են հավաքող և ցրող՝ կախված այն բանից, թե ճառագայթների զուգահեռ փունջը ոսպնյակից դուրս գալուց հետո զուգամիտու՞մ է, թե՞ տարամիտում: Հավաքող ոսպնյակ է, օրինակ, երկուռուցիկ ոսպնյակը, իսկ ցրող՝ երկգոգավոր ոսպնյակը, եթե նրանք գտնվում են օպտիկապես ավելի նոսր միջավայրերում (նկ.141):

Ոսպնյակը սահմանափակող գնդային մակերևույթների կենտրոններով անցնող ուղիղը կոչվում է ոսպնյակի ***գլխավոր օպտիկական առանցք:*** Ոսպնյակի կենտրոնում, գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա գտնվող կետը կոչվում է ***ոսպնյակի օպտիկական կենտրոն***: Գլխավոր օպտիկական առանցքի այն կետը, որտեղ հավաքվում են գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ փնջի բոլոր ճառագայթները ոսպնյակից դուրս գալուց հետո, կոչվում է հավաքող ոսպնյակի ***գլխավոր F կիզակետ:*** Իսկ ոսպնյակից մինչև կիզակետ ընկած հեռավորությունը կոչվում է *F* ***կիզակետային հեռավորություն*** (նկ.141):

Ցրող ոսպնյակի կիզակետում հավաքվում են ոչ թե ոսպնյակն անցած ճառագայթները (ոսպնյակից դուրս գալուց հետո նրանք տարամիտում են), այլ դրանց շարունակությունները: Այդ պատճառով ցրող ոսպնյակի կիզակետն անվանում են «կեղծ», իսկ կիզակետային հեռավորությունը համարում՝ բացասական: Հավաքող ոսպնյակն ունի երկու իրական կիզակետ, ցրող ոսպնյակը՝ երկու կեղծ կիզակետ:



Նկ. 141

Ոսպնյակի օպտիկական կենտրոնով անցնող մյուս ուղիղները կոչվում են ***երկրորդական օպտիկական առանցքներ:*** Հավաքող ոսպնյակի օպտիկական առանցքներին զուգահեռ ճառագայթները

ոսպնյակով անցնելուց հետո հավաքվում են ***կիզակետային հարթության*** մեջ, որն անցնում է գլխավոր կիզակետով և ուղղահայաց է գլխավոր օպտիկական առանցքին:

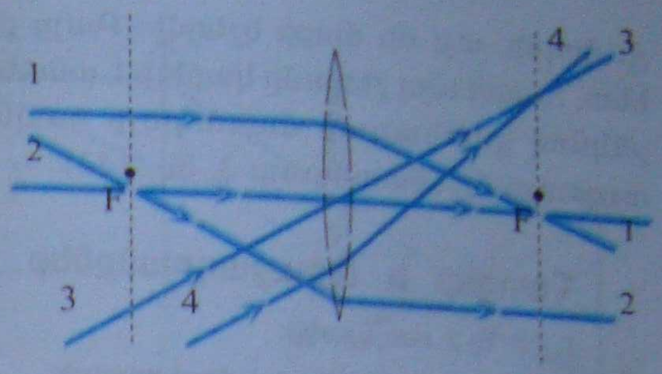
Ոսպնյակի օպտիկական հատկությունները բնութագրելու համար օգտագործում են ոսպնյակի ***օպտիկական ուժ*** ֆիզիկական հասկացությունը: ***Ոսպնյակի օպտիկական ուժը կիզակետային հեռավորության հակադարձ մեծությունն է:*** Ոսպնյակի օպտիկական ուժը նշանակում են D տառով՝

$$D = \frac{1}{F} : \qquad (7:7)$$

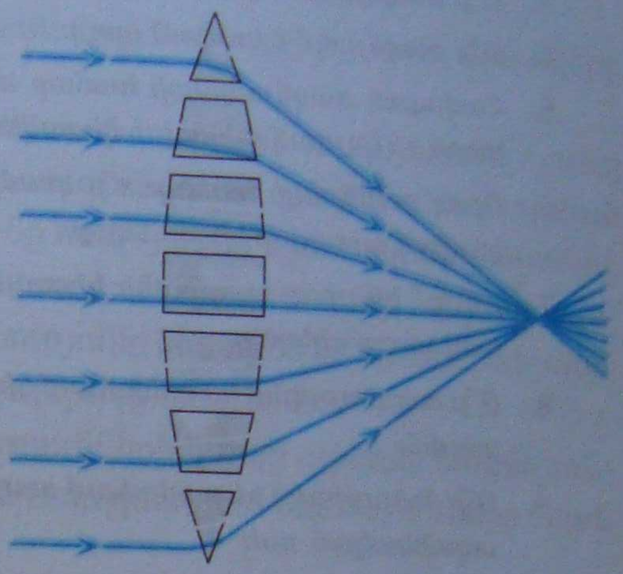
Օպտիկական ուժի միավորը 1/մ-ն է, որն անվանում են դիոպտրա՝

$$1 \text{ դպտր} = 1 \text{ մ}^{-1} :$$

Հավաքող ոսպնյակի օպտիկական ուժը դրական մեծություն է, քանի որ $F > 0$, իսկ ցրող ոսպնյակինը՝ բացասական, քանի որ $F < 0$:



Նկ. 142



Նկ. 143

Ճառագայթների ընթացքը բարակ ոսպնյակում: Դիտարկենք մի քանի ճառագայթների ընթացքը բարակ ոսպնյակում: ***Բարակ ոսպնյակ*** է համարվում այն ոսպնյակը, որի հաստությունը կարելի է անտեսել գնդային մակերևույթների շառավիղների համեմատությամբ: Եթե ճառագայթն ընկնում է ոսպնյակի գլխավոր օպտիկական առանցքի երկայնքով, ապա այն, առանց փոխելու իր ուղղությունը, անցնում է ոսպնյակով (նկ.142):

Ճառագայթների ընթացքը ոսպնյակում նկարագրելու համար ոսպնյակը կարելի է պատկերել պրիզմաների տեսքով՝ եռանկյուն, քառանկյուն և ուղղանկյուն հատույթներով: Պրիզմաներից յուրաքանչյուրը, բացի ուղղանկյուն հատույթով կենտրոնականից, ճառագայթների զուգահեռ փունջը շեղում է դեպի իր հիմքը, ընդ որում, որքան հեռու է գլխավոր օպտիկական առանցքից զուգահեռ ճառագայթը, այնքան մեծ է նրա շեղման անկյունը, քանի որ այդ ճառագայթի համար մեծ է ինչպես պրիզմայի բեկող անկյունը, այնպես էլ անկման անկյունը (նկ. 143): Սա է պատճառը, որ գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ ճառագայթները ոսպնյակով անցնելուց հետո հավաքվում են մեկ կետում՝ ոսպնյակի կիզակետում (ճառագայթ 1, նկ. 142):

Հաշվի առնելով ճառագայթների շրջելիության հատկությունը՝ կարելի է պնդել, որ ոսպնյակի կիզակետով անցնող ճառագայթը ոսպնյակով անցնելուց հետո կուղղվի նրա գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ (ճառագայթ 2, նկ. 142):

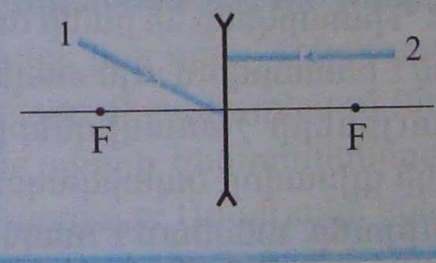
Այժմ դիտարկենք որևէ այլ օպտիկական առանցքով անցնող ճառագայթի ընթացքը ոսպնյակում: Քանի որ ոսպնյակի կենտրոնական մասը նման է զուգահեռ մակերևույթներով հարթ թիթեղի, ապա ճառագայթը, անցնելով թիթեղով, իր ուղղությունը

չի փոխի, այլ մի փոքր կշեղվի: Բայց քանի որ մենք գործ ունենք բարակ ոսպնյակի հետ, ուստի այդ շեղումը կարելի է անտեսել: Այսպիսով՝ բարակ ոսպնյակի կենտրոնին ընկնող ցանկացած ճառագայթ ոսպնյակով անցնելուց հետո պահպանում է իր ուղղությունը (ճառագայթ 3, նկ. 142):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է ոսպնյակը:*
2. *Ո՞ր ոսպնյակն է կոչվում բարակ:*
3. *Ո՞ր ոսպնյակն է կոչվում հավաքող:*
4. *Ո՞ր ոսպնյակն է կոչվում ցրող:*
5. *Հավաքող ոսպնյակների համար ո՞ր կետերն են կոչվում գլխավոր կիզակետեր:*
6. *Ցրող ոսպնյակի համար ո՞ր կետերն են կոչվում գլխավոր կիզակետեր:*
7. *Ինչու՞ են ցրող ոսպնյակի կիզակետերն անվանում «կեղծ»:*
8. *Ո՞ր հարթությունն են անվանում կիզակետային:*
9. *Ո՞ր մեծությունն են անվանում ոսպնյակի օպտիկական ուժ:*
10. *Ի՞նչ նշան ունի ոսպնյակի օպտիկական ուժը հավաքող և ցրող ոսպնյակների համար:*
11. *Ո՞րն է ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը և կիզակետային հարթությունը:*
12. *Սահմանե՛ք ոսպնյակի «գլխավոր օպտիկական առանցք», «երկրորդական օպտիկական առանցք» հասկացությունները:*
13. *Ճառագայթը դուրս է եկել հավաքող ոսպնյակի կիզակետից: Ի՞նչ ուղղություն կունենա ճառագայթը ոսպնյակն անցնելուց հետո:*
14. *Կառուցե՛ք նկարում պատկերված 1 և 2 ճառագայթների ընթացքը բարակ հավաքող ոսպնյակն անցնելուց հետո:*

15. *Կառուցե՛ք նկարում պատկերված 1 և 2 ճառագայթների ընթացքը բարակ ցրող ոսպնյակն անցնելուց հետո:*

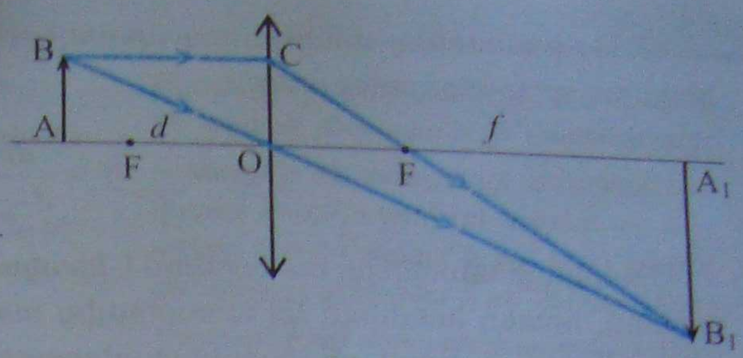


§ 78. Պատկերի կառուցումը ոսպնյակներում: Բարակ ոսպնյակի բանաձևը

Պատկերի կառուցումը ոսպնյակներում: Իմանալով ճառագայթների ընթացքը ոսպնյակում՝ կարելի է կառուցել ցանկացած առարկայի պատկերը ոսպնյակում: Կետի պատկերը ոսպնյակում կարելի է կառուցել կետից դուրս եկող և ոսպնյակի վրա ընկնող կամայական երկու ճառագայթներով: Օգտվելով այս փաստից՝ կառուցումը կարելի է կատարել այն ճառագայթներով, որոնց ընթացքը նախօրոք հայտնի է:

Դիտարկենք այն դեպքը, երբ առարկան (սլաքի տեսքով) գտնվում է հավաքող ոսպնյակի կիզակետից դուրս: Սլաքի հիմքը (A կետը) գտնվում է գլխավոր օպտիկական առանցքի վրա, ուստի նրա պատկերը նույնպես կգտնվի այդ առանցքի վրա՝ ոսպնյակի հակառակ կողմում: B կետի պատկերը կառուցելու համար բավական է դիտարկել երկու ճառագայթ, 1-ինը՝ ոսպնյակի օպտիկական կենտրոնով անցնող, 2-րդը՝ գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ: Ոսպնյակի կենտրոնով անցնող ճառագայթը չի

փոխում իր ուղղությունը, իսկ գլխավոր օպտիկական առանցքին զուգահեռ ճառագայթը, ոսպնյակն անցնելուց հետո փոխելով իր ուղղությունը, անցնում է ոսպնյակի կիզակետով և ինչ-որ կետում հատվում 1-ին ճառագայթի հետ: Այդ կետում էլ գտնվում է սլաքի B ծայրի B_1 պատկերը: Այդ կետից իջեցնելով ուղղահայաց մինչև գլխավոր օպտիկական առանցքի հետ հատվելը՝ կստանանք AB առարկայի A_1B_1 պատկերը հավաքող ոսպնյակում (նկ.144):



Նկ. 144

Այժմ պարզենք, թե տրված F կիզակետային հեռավորությամբ ոսպնյակում որտեղ կստացվի առարկայի պատկերը, եթե առարկան գտնվում է ոսպնյակից տրված հեռավորության վրա: Առարկայի հեռավորությունը ոսպնյակից նշանակենք d տառով, իսկ պատկերի հեռավորությունը ոսպնյակից՝ f տառով: Պարզվում է, որ այդ հեռավորությունները և ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը կապված են մի առնչությամբ, որը կարող ենք հեշտությամբ ստանալ բարակ ոսպնյակի դեպքում:

Բարակ ոսպնյակի բանաձևը: d, f և F մեծությունների կապը գտնենք եռանկյունների նմանության պայմանից (նկ.144): ABO և A_1B_1O ուղղանկյուն եռանկյունները նման են, քանի որ $\angle AOB = \angle A_1OB_1$, հետևաբար՝

$$\frac{AB}{d} = \frac{A_1B_1}{f}: \qquad (7.8)$$

A_1B_1F և OCF ուղղանկյուն եռանկյունների նմանությունից հետևում է

$$\frac{OC}{F} = \frac{A_1B_1}{f-F} \qquad (7.9)$$

առնչությունը: $AB = OC$, ուստի, (7.8) արտահայտությունը բաժանելով (7.9)-ի վրա, կստանանք՝

$$\frac{F}{d} = \frac{f-F}{f}: \qquad (7.10)$$

Ձևափոխենք այս արտահայտությունը՝

$$Ff = df - dF, \qquad Ff + dF = df:$$

Հավասարության երկու կողմն էլ բաժանելով dfF արտադրյալի վրա, կստանանք՝

$$\boxed{\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}}: \qquad (7.11)$$

d, f և F մեծությունների կապն արտահայտող այս հավասարությունը կոչվում է ***բարակ ոսպնյակի բանաձև:*** (7.11) բանաձևը ճիշտ է և՛ հավաքող, և՛ ցրող ոսպնյակների համար, միայն այն տարբերությամբ, որ ցրող ոսպնյակի համար F-ը բացասական է:

(7.11) բանաձևից ոսպնյակից պատկերի հեռավորության համար ստացվում է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$f = \frac{dF}{d - F}; \qquad (7.12)$$

Առարկայի պատկերը համարվում է ***իրական***, եթե այն ստացվում է ոսպնյակի մյուս կողմում, որտեղ հատվում են առարկայից ոսպնյակի վրա ընկնող և նրանով անցած ճառագայթները: Իրական պատկերի դեպքում $f > 0$:

Դիտարկենք այս բանաձևի մի քանի մասնավոր դեպքեր հավաքող ոսպնյակի համար:

1. Եթե առարկան գտնվում է հավաքող ոսպնյակից անվերջ հեռու՝ $d = \infty$, ապա $f = F$, այսինքն՝ առարկայի պատկերը ստացվում է ոսպնյակի կիզակետում:

2. Եթե առարկան գտնվում է ոսպնյակից $d = 2F$ հեռավորության վրա, ապա պատկերը ստացվում է ոսպնյակի մյուս կողմում, նույն հեռավորության վրա՝ $f = 2F$:

3. Եթե առարկան գտնվում է հավաքող ոսպնյակի կիզակետում ($d = F$), ապա $f = \infty$, այսինքն՝ պատկերը ստացվում է ոսպնյակից անվերջ հեռու (փաստորեն պատկեր չի առաջանում):

4. Եթե առարկան գտնվում է հավաքող ոսպնյակի և կիզակետի միջև ($d < F$), ապա $f < 0$, այսինքն՝ առարկայի պատկերը գտնվում է նույն կողմում, որտեղ որ առարկան է (այսինքն՝ պատկերը կեղծ է):

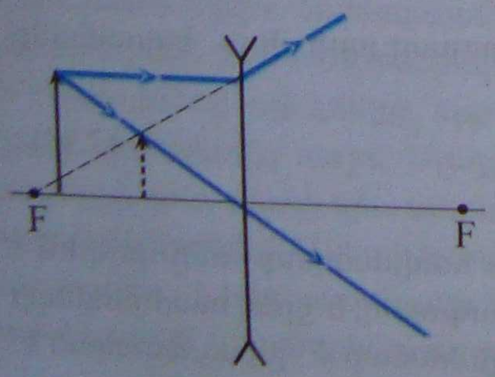
Ցրող ոսպնյակի դեպքում կիզակետային հեռավորությունը՝ $F < 0$, ուստի (7.12) բանաձևի փոխարեն ստանում ենք

$$f = -\frac{d|F|}{d + |F|} \qquad (7.13)$$

արտահայտությունը: Վերջինից հետևում է, որ ցրող ոսպնյակում առարկայի պատկերը միշտ կեղծ է՝ $f < 0$ (նկ.145):

Ոսպնյակում ստացված պատկերի չափերը, որպես կանոն, տարբերվում են առարկայի համապատասխան չափերից: ***Ոսպնյակի գծային խոշորացում*** են անվանում պատկերի գծային չափի (H) և առարկայի գծային չափի (h) հարաբերությունը: (7.8) և (7.12) բանաձևերից Γ գծային խոշորացման համար կստանանք՝

$$\Gamma = \frac{A_1B_1}{AB} = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} = \frac{F}{d - F}; \qquad (7.14)$$

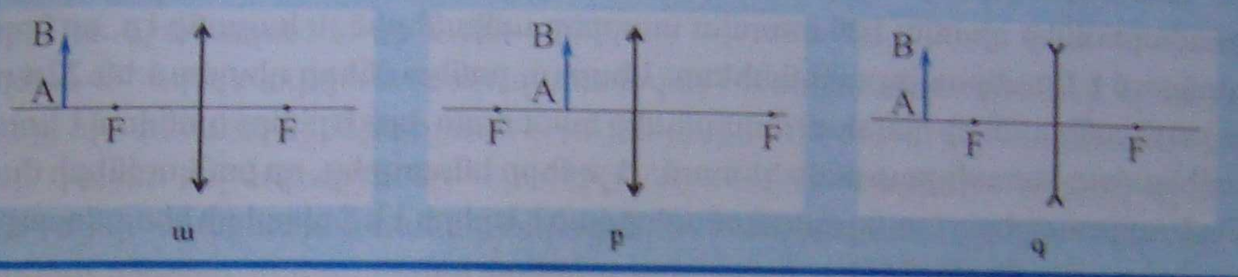


Նկ. 145

Ստացված բանաձևից հետևում է, որ հավաքող ոսպնյակի գծային խոշորացումը՝ $\Gamma \le 1$, եթե առարկան գտնվում է կրկնակի կիզակետային հեռավորությունից դուրս ($d \ge 2F$), և $|\Gamma| > 1$, եթե առարկան գտնվում է կրկնակի կիզակետի և ոսպնյակի միջև ($0 < d < 2F$): Ցրող ոսպնյակում, ըստ (7.13) և (7.14) բանաձևերի, միշտ ստացվում է առարկայի փոքրացված պատկերը՝ $|\Gamma| < 1$:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք բարակ ոսպնյակի բանաձևը:*
2. *Ո՞ր մեծություններ են անփոխում ոսպնյակի գծային խոշորացում:*
3. *Հավաքող ոսպնյակից առարկայի ի՞նչ հեռավորությունների դեպքում է առացվում նրա կեղծ պատկերը:*
4. *Ցրող ոսպնյակից առարկայի ի՞նչ հեռավորությունների դեպքում է առացվում նրա կեղծ պատկերը:*
5. *Կառուցե՛ք AB առարկայի պատկերը հավաքող ոսպնյակում (ա) և նշե՛ք, թե իրնչպիսին է այն (իրակա՞ն, թե՞ կեղծ, ուղի՞ղ թե՞ շրջված, մեծացա՞ծ, թե՞ փոքրացված):*
6. *Կառուցե՛ք AB առարկայի պատկերը հավաքող ոսպնյակում (բ) և նշե՛ք, թե իրնչպիսին է այն (իրակա՞ն, թե՞ կեղծ, ուղի՞ղ թե՞ շրջված, մեծացա՞ծ, թե՞ փոքրացված:*
7. *Կառուցե՛ք AB առարկայի պատկերը ցրող ոսպնյակում (գ) և նշե՛ք, թե իրնչպիսին է այն (իրակա՞ն, թե՞ կեղծ, ուղի՞ղ թե՞ շրջված, մեծացա՞ծ, թե՞ փոքրացված):*



ա բ գ

§ 79. Լաբորատոր աշխատանք N 8. Հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հեռավորության որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. Որոշել հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը:

Չափամիջոցներ. 1. չափերիզ (150 սմ երկարությամբ):

Նյութեր և սարքեր. 1. հավաքող ոսպնյակ (10÷20 սմ կիզակետային հեռավորությամբ), 2. լույսի աղբյուր (մոմ կամ էլեկտրալամպ), 3. էկրան:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Լույսի աղբյուրը, հավաքող ոսպնյակը և էկրանը դասավորել սեղանի վրա և տեղաշարժել իրար նկատմամբ այնպես, որ էկրանի վրա առացվի լույսի աղբյուրի հստակ պատկերը:

2. Նշել սարքերի դիրքերը և չափել d_1-ն ու f_1-ը:

3. Լույսի աղբյուրն ու էկրանը բողնել անշարժ և տեղաշարժել ոսպնյակը, մինչև որ նորից առացվի լույսի աղբյուրի հստակ պատկեր:

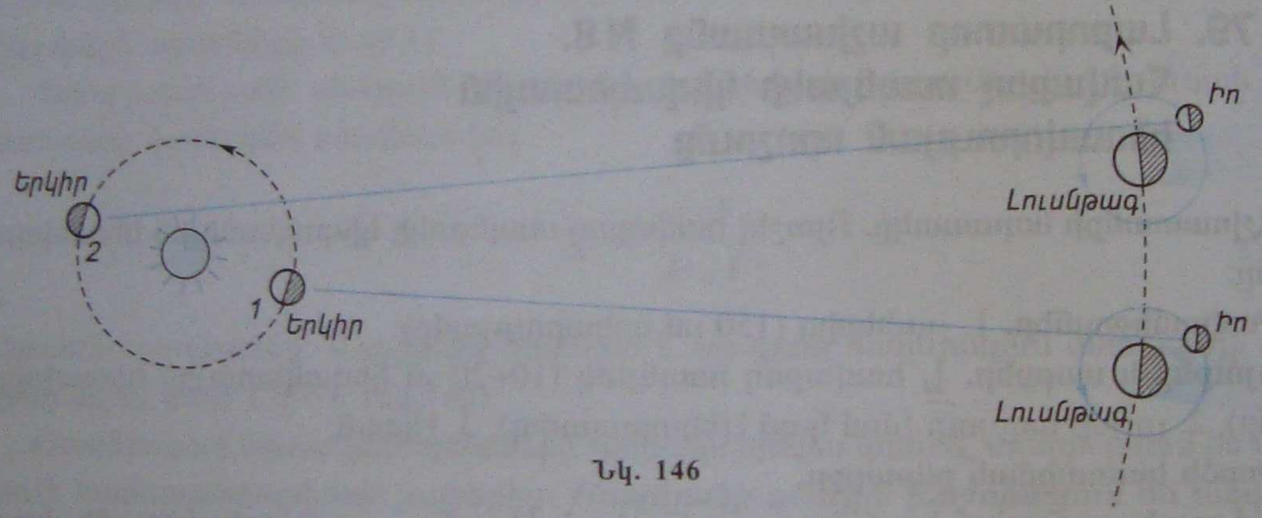
4. Նորից չափենք d_2-ը և f_2-ը: Պարզվում է, որ $f_1 = d_2$ և $d_1 = f_2$:

5. Օգտվելով առացված տվյալներից և $F = df/(d+f)$ բանաձևից՝ հաշվել ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը:

§ 80. Լույսի տարածման արագությունը

Լույսի արագության չափման Ռյոմերի մեթոդը: 17-րդ դարում դեռևս հայտնի չէր՝ լույսը տարածվում է անվերջ մեծ, թե վերջավոր արագությամբ: Դեռևս Գալիլեյը փորձեց գտնել այդ հարցի պատասխանը, սակայն նրա փորձում լույսի տարածման հեռավորությունն այնքան փոքր էր, որ նա չկարողացավ այդ խնդիրը լուծել:

Առաջին անգամ լույսի արագությունը որոշել է դանիացի գիտնական **Օ.Ռ-յոմերը** 1676 թ., որն ուսումնասիրում էր Լուսնթագի (Յուպիտեր) արբանյակների խավարումները: Լուսնթագի տասնչորս արբանյակներից մոլորակին ամենամոտն Իոն է, որը, ըստ դիտումների, պտտվում է մոլորակի շուրջը և, որոշ ժամանակ գտնվելով մոլորակի ստվերում, խավարում է և նորից հայտնվում, ինչպես ակնթարթորեն բռնկվող լամպ: Մինչև Ռյոմերը հայտնի էր, որ այդ միջբռնկումային ժամանակամիջոցը հավասար է 42 ժամ 28 րոպեի, որն էլ փաստորեն արբանյակի պտտման պարբերությունն է: Իոյի խավարումներ դիտվել էին տարվա տարբեր ամիսներին, և հայտնի էր, որ երբ Երկիրը գտնվում է Լուսնթագից ամենահեռու կետում, բռնկումները դիտվում են 22ր-ով ավելի ուշ այն բռնկումների դիտման ժամանակի համեմատ, երբ Երկիրը գտնվում է Լուսնթագից ամենամոտ հեռավորությամբ կետում: Ռյոմերը ենթադրեց, որ բռնկումների ժամանակների այդ տարբերությունը պայմանավորված է Երկրի 1 և 2 դիրքերի հեռավորությունների տարբերությամբ (նկ.146):



Նկ. 146

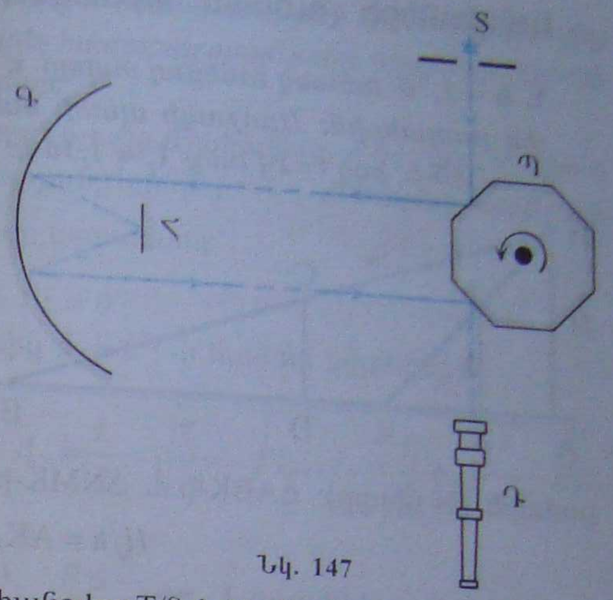
Այսպիսով՝ 22 ր-ում լույսը մինչև 2 դիրքում գտնվող Երկրին հասնելն անցնում է լրացուցիչ ճանապարհ, որը մոտավորապես հավասար է նրա ուղեծրի տրամագծին: Ըստ Ռյոմերի հաշվարկների՝ լույսի տարածման արագությունը կազմեց 227000 կմ/վ: Հետագայում Իո արբանյակի խավարումների ավելի ճշգրիտ չափումներ կատարելով՝ Հյույգենսը լույսի արագության համար ստացավ մոտավորապես 300000 կմ/վ արժեքը, որն այսօր ընդունված է որպես վակուումում լույսի տարածման մոտավոր արագություն:

Մայքելսոնի փորձը: Լույսի արագության առավել ճշգրիտ չափումներ իրականացրեց ամերիկացի ֆիզիկոս **Ա.Մայքելսոնը** 1927 թ.:

Մայքելսոնի փորձում լույսի S աղբյուրը, պտտվող ութանիստ հայելային Պ պրիզման և Դ դիտակը գտնվում էին մի լեռնագագաթին, իսկ նրանից L ≈ 35,5 կմ հեռավորության վրա գտնվող մյուս լեռնագագաթին՝ Գ գնդային և Հ հարթ հայելիներից կազմված մի համակարգ (նկ.147):

Ութանիստ պրիզմայի անշարժ վիճակում սարքն այնպես էր հարմարեցված, որ լույսը, անդրադառնալով պրիզմայի մի նիստից, հասնում էր լեռնագագաթին գտնվող հայելիների

համակարգին, անդրադառնում էր դրանից և, հասնելով առաջին լեռնագագաթին գտնվող պրիզմայի մեկ այլ նիստին, նորից անդրադառնում էր՝ ընկնելով դիտորդի աչքին: Երբ պրիզման սկսում էր պտտվել, Հ հարթ հայելուց անդրադարձած լույսը, հասնելով նրա նիստին, անդրադառնում էր 45°-ից տարբեր անկյան տակ, և դիտորդն այն չէր տեսնում: Փորձում աստիճանաբար մեծացնելով պրիզմայի պտտման հաճախությունը, Մայքելսոնը պարզեց, որ $n = 528$ վ$^{-1}$ հաճախության դեպքում դիտորդը նորից անընդհատ տեսնում է լույսի S աղբյուրը: Դա նշանակում է, որ ութանիստ պրիզման 45°-ով պտտվելու համար պահանջվող T/8 ժամանակամիջոցում, որտեղ T-ն պրիզմայի պտտման պարբերությունն է, լույսն անցնում է 2L ≈ 71 կմ ճանապարհ, հետևաբար՝ լույսի արագությունը՝ $c = 2L/(T/8) = 16Ln$: Փորձերի հիման վրա Մայքելսոնը լույսի արագության համար ստացավ 299920 կմ/վ արժեքը:



Նկ. 147

Հետագայում ճշգրիտ չափումներով վակուումում լույսի տարածման արագության համար ստացվեց 299792458±1,2 մ/վ արժեքը:

Լույսի արագությունը վակուումում կարևոր նշանակություն ունի ֆիզիկայում, քանի որ ոչ մի ֆիզիկական մարմին դրանից ավելի մեծ արագություն չի կարող ունենալ (այդ մասին կխոսվի հարաբերականության հատուկ տեսության մեջ): ***Վակուումում լույսի արագությունը ֆիզիկայի ունիվերսալ հաստատուններից է:***

Լույսի արագությունը չափվել է նաև տարբեր միջավայրերում, և պարզվել է, որ դրանցից յուրաքանչյուրում այն ավելի փոքր է, քան վակուումում: Օրինակ՝ լույսի արագությունը ջրում 1,33 անգամ ավելի փոքր է, քան վակուումում:

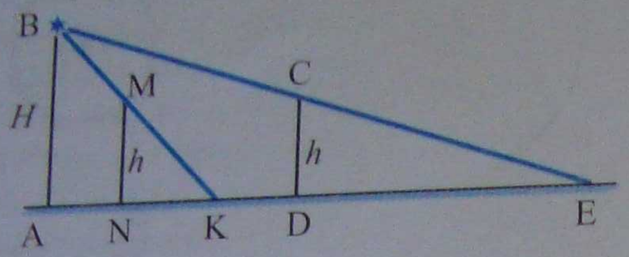
Լույսի արագությունն այնքան մեծ է, որ կենցաղում մեզ թվում է, թե այն տարածվում է ակնթարթորեն: Միայն տիեզերական հեռավորությունների դեպքում է զգացվում լույսի արագության վերջավոր լինելը: Լույսի ճառագայթն Արեգակից Երկիր է հասնում մոտ 8 ր-ի ընթացքում: Գալակտիկական հեռավորությունները գնահատելու համար հաճախ օգտագործում են երկարության նոր միավոր՝ լուսատարի, հեռավորություն, որը լույսն անցնում է 1 տարում: Մեր Գալակտիկայի տրամագիծը մոտ 100000 լուսատարի է, այսինքն՝ Գալակտիկայի մի ծայրից մյուսը լույսն անցնում է 100000 տարվա ընթացքում: Լույսի տարածման վերջավոր արագությամբ է պայմանավորված այն փաստը, որ մենք երկնքի ինչ-որ մասում հայտնաբերում ենք նոր աստղի բռնկում, որն իրականում տեղի է ունեցել հազարավոր տարիներ առաջ: Կամ՝ այսօր դիտում ենք աստղեր, որոնք, հնարավոր է, արդեն գոյություն չունեն:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչու՞ են աստղերի հեռավորություններն արտահայտում լուսատարիով:*
2. *Քանի՞ կիլոմետր է մեկ լուսատարին:*
3. *Ինչի՞ է հավասար լույսի արագության մոտավոր արժեքը վակուումում:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***h = 1,7մ*** *հասակ ունեցող մարդը* ***v = 1մ/վ*** *արագությամբ մոտենում է փողոցային լապտերին: Որոշակի պահի մարդու ստվերի երկարությունը հավասար է* ***l_1 = 1,8մ***-*ի, իսկ* ***t=2վ*** *անց՝* ***l_2 = 1,3մ***-*ի: Որոշել լապտերի* ***H*** *բարձրությունը:*



Լուծում: Այն պահին, երբ մարդու ստվերի երկարությունը l_1 է (D դիրքը), ΔABE-ի և ΔDCE-ի նմանությունից հետևում է, որ

$$H/h = AE/DE = AE/l_1 :$$

t վ անց մարդն ավելի մոտ է գտնվում լամպին (N դիրքը): ΔABK-ի և ΔNMK-ի նմանությունից հետևում է, որ

$$H/h = AK/NK = AK/l_2 :$$

Գծագրից ակնհայտ է, որ

$$AE = AD + DE = AN + ND + DE = AK - NK + ND + DE = AK + l_1 - l_2 + vt :$$

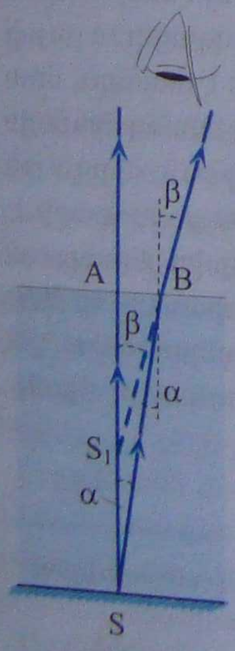
Վերջին արտահայտության մեջ տեղադրելով $AE = l_1H/h$ և $AK = l_2H/h$ առնչությունները, կստանանք՝

$$\frac{H}{h}l_1 = \frac{H}{h}l_2 + l_1 - l_2 + vt, \quad \text{որտեղից՝} \quad H = h\frac{l_1 - l_2 + vt}{l_1 - l_2} = 8,5\text{մ}:$$

2. ***Քանի՞ անգամ է ջրամբարի իրական խորությունը մեծ նրա թվացող խորությունից, եթե նայենք ուղղաձիգ ներքև:***

Լուծում: Կառուցենք ջրամբարի հատակին գտնվող S կետից դուրս եկող և դիտորդի աչքի մեջ ընկնող ճառագայթների ընթացքը (տե՛ս նկարը):

Քանի որ ուղղաձիգով ենք նայում, ապա որպես մի ճառագայթ ընտրենք ջրի մակերևույթին ուղղահայաց SA-ն, իսկ մյուսը՝ SB-ն, որն ուղղահայացի հետ կազմում է փոքր α անկյուն: Դիտորդին կթվա, որ այդ երկու ճառագայթները դուրս են գալիս S_1 կետից, որը S կետի կեղծ պատկերն է: Ինչպես տեսնում ենք, $\angle BS_1A = \beta$: ABS և ABS_1 եռանկյուններից հեշտությամբ կարող ենք գտնել հետևյալ առնչությունը՝ $AB = H\,tg\alpha = h\,tg\beta$, $H = SA$, $h = S_1A$, որտեղից՝



$$\frac{H}{h} = \frac{tg\beta}{tg\alpha} :$$

Քանի որ α և β անկյունները փոքր են (ուղղաձիգ ներքև նայելիս $\alpha \to 0$, $\beta \to 0$), ապա՝

$$\frac{H}{h} = \frac{tg\beta}{tg\alpha} \approx \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = n \quad \text{կամ} \quad H = nh :$$

Այսպիսով, ջրամբարի իրական H խորությունը թվացող h խորությունից մեծ է $n = 1,3$ անգամ, որտեղ n-ը ջրի բեկման ցուցիչն է:

3. *Առարկան և էկրանը դրված են միմյանցից L հեռավորության վրա: Առարկային ի՞նչ հեռավորության վրա պետք է տեղադրել հավաքող ոսպնյակը, որպեսզի էկրանի վրա ստացվի առարկայի հստակ պատկերը:*

Լուծում: Ոսպնյակից առարկայի հեռավորությունը նշանակենք d-ով, այդ դեպքում ոսպնյակից պատկերի հեռավորությունը կլինի $f = L - d$: Բարակ ոսպնյակի $1/d + 1/(L-d) = 1/F$ բանաձևից d-ի համար կստանանք՝

$$d^2 - Ld + FL = 0:$$

Այս հավասարումից և $d + f = L$ պայմանից d-ի և f-ի համար կգտնենք՝

$$d_1 = \frac{L}{2} + \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}, \quad f_1 = \frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}, \quad d_2 = \frac{L}{2} - \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}, \quad f_2 = \frac{L}{2} + \sqrt{\frac{L^2}{4} - FL}$$

$$\frac{L^2}{4} - FL \geq 0, \quad F \leq \frac{L}{4}:$$

Ինչպես տեսնում ենք, ոսպնյակը կարելի է տեղադրել երկու դիրքում, և երկու դեպքում էլ առարկայի պատկերն էկրանին կստացվի հստակ: Ընդ որում, այդ երկու դիրքերի գոյությունը պայմանավորված է ճառագայթների շրջելիության հատկությամբ: Մի դեպքում առարկայի պատկերը լինում է խոշորացված, մյուս դեպքում՝ փոքրացված:

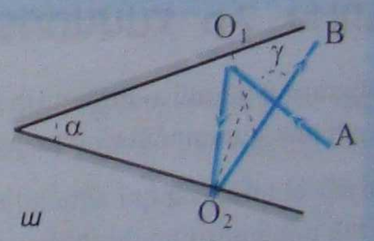
Խնդիրներ

1. *Փողոցային լապտերի մոտ ուղղածիգ տեղադրված ձողը, որի բարձրությունը 1մ է, գցում է 1մ երկարությամբ ստվեր: Եթե ձողը ստվերի ուղղությամբ 1մ-ով հեռացվի լապտերից, ապա նրա ստվերի երկարությունը կդառնա 2մ: Ի՞նչ բարձրության վրա է կախված լապտերը:*

2. *Երկու հարթ հայելիներ միմյանց հետ կազմում են $30°$ անկյուն: Առաջին հայելուց անդրադարձած ճառագայթը երկրորդի վրա ընկնում է նրան ուղղահայաց: Ի՞նչ անկյան տակ է այդ ճառագայթն ընկնում առաջին հայելու վրա:*

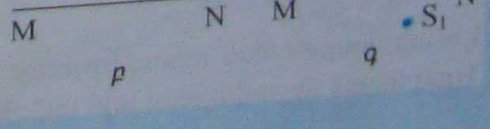
3. *Գոգավոր հայելին տալիս է առարկայի 3 անգամ փոքրացված պատկերը: Եթե առարկան 6 սմ-ով մոտեցվի հայելուն, ապա պատկերը կլինի 2 անգամ փոքրացված: Գտնել հայելու գլխավոր կիզակետային հեռավորությունը:*

4. *Որոշել ընկնող AO_1 և անդրադարձած O_2B ճառագայթներով կազմված γ անկյունը, եթե անդրադարձումը տեղի է ունենում հարթ հայելիներից, որոնց կազմած անկյունը՝ $\alpha = 47°$ (ա): Ճառագայթների հարթությունն ուղղահայաց է հայելիների հարթությունների հատման գծին:*



ա

5. *Նկարում պատկերված են գնդային հայելու MN օպտիկական առանցքի, լուսատու S կետի և նրա S_1 պատկերի դիրքերը բ) և գ) դեպքերի համար: Կառուցման եղանակով գտնել հայելու գագաթի և նրա կենտրոնի դիրքերն այդ երկու դեպքերում:*



բ գ

6. *Ի՞նչ անկյան տակ պետք է ճառագայթն ընկնի ապակու վրա, որպեսզի բեկված ճառագայթն ուղղահայաց լինի անդրադարձած ճառագայթին:*

7. *Ի՞նչ h բարձրության վրա է գտնվում օդապարիկը, եթե H բարձրությամբ աշտարակից այն երևում է հորիզոնից վերև α անկյան տակ, իսկ նրա պատկերը լճում երևում է հորիզոնից ներքև β անկյան տակ:*

8. *Լույսի ճառագայթն ընկնում է ապակե պրիզմայի նիստին՝ նրան ուղղահայաց: Որոշել ճառագայթի շեղման անկյունը, եթե պրիզմայի բեկող անկյունը 60° է: Ապակու բեկման ցուցիչն ընդունել հավասար $\sqrt{2}$ -ի:*

9. *Լույսի ճառագայթը հեղուկ դիէլեկտրիկից դուրս է գալիս օդ: Լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյունն այդ ճառագայթի համար հավասար է 45°-ի: Որոշել այդ դիէլեկտրիկում լույսի տարածման արագությունը:*

10. *Հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հեռավորությունը 3 մ է: Գտնել առարկայի հեռավորությունը ոսպնյակից, եթե այն 2 անգամ փոքր է, քան առարկայի պատկերի հեռավորությունը ոսպնյակից: Դիտարկել երկու դեպք՝ $d > F$ և $d < F$:*

11. *Մոմը գտնվում է ոսպնյակից 3 մ հեռավորության վրա, իսկ նրա իրական պատկերը՝ ոսպնյակից 2 մ հեռավորության վրա: Ոսպնյակից ի՞նչ հեռավորության վրա կստացվի պատկերը, եթե առարկան մոտեցնենք ոսպնյակին 1,5 մ-ով:*

12. *d_1 հեռավորությունից լուսանկարված առարկան ժապավենի վրա ստացվել է h_1 բարձրությամբ, իսկ d_2 հեռավորությունից լուսանկարելու դեպքում պատկերի բարձրությունը h_2 է: Գտնել օբյեկտիվի օպտիկական ուժը:*

13. *0,5 մ բարձրությամբ առարկան գտնվում է −2 մ կիզակետային հեռավորություն ունեցող ոսպնյակի օպտիկական կենտրոնից 3 մ հեռավորության վրա: Գտնել առարկայի պատկերի բարձրությունը:*

14. *Մինչև 15 սմ բարձրությունը ջրով լցված անոթի հատակին տեղադրված է լույսի կետային աղբյուրը: Ի՞նչ նվազագույն տրամագծով անթափանց թիթեղ է պետք դնել ջրի մակերևույթին, որպեսզի ջրի միջից լույսը դուրս չգա:*

ԳԼՈՒԽ 7-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Երկրաչափական օպտիկայի օրենքները երեքն են՝ լույսի ուղղագիծ տարածման, լույսի անդրադարձման և լույսի բեկման օրենքները:

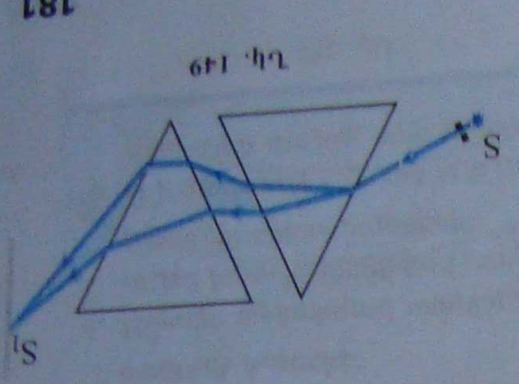
2. Լույսի բեկումը երկու միջավայրերի բաժանման սահմանին պայմանավորված է լույսի արագության փոփոխությամբ՝ մի միջավայրից մյուսն անցնելիս:

3. Լույսի լրիվ անդրադարձման երևույթը դիտվում է, երբ լույսն օպտիկապես խիտ միջավայրից ընկնում է օպտիկապես նոսր միջավայրի սահմանին՝ լույսի լրիվ անդրադարձման սահմանային անկյունից մեծ անկման անկյան տակ:

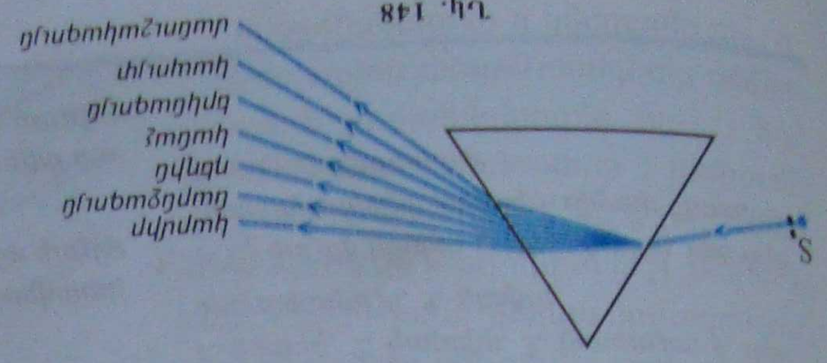
4. Ոսպնյակից առարկայի d, պատկերի f և ոսպնյակի F կիզակետային հեռավորությունները կապված են բարակ ոսպնյակի բանաձևով՝

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}:$$

5. Լույսի տարածման արագությունը վակուումում մոտավորապես 300000 կմ/վ է: Նյութական միջավայրում այն ավելի փոքր է, քան վակուումում:



Նկ. 149



Նկ. 148

Ն՛ր երևույթի ենթի այլ ապացույց է այն փաստը, որ սպիտակ լույսը՝ անցնելով եռանկյունաձև պրիզմայով, տարրալուծվում է յոթ գունավոր ճառագայթների՝ կարմիրից մինչև մանուշակագույն:

Ն՛ր երևույթը ենթի ապացուցի է Ի՛նքը Նյուտոնը 1666 թ.: Ի՛նքը ենթի ապացուցի է, որ սպիտակ գույնը ունի բարդ կազմություն: Նյուտոն

յի նկատմամբ 180°-ով շրջված երկրորդ պրիզման տեղավորենք տարրալուծված լույսային փնջերի ճանապարհին, ապա գունավոր փնջերը, անցնելով երկրորդ պրիզմայի միջով և վերադրվելով, կտան S ճեղքի S_1 սպիտակ պատկերը (նկ. 149, տե՛ս նաև կազմի 4-րդ էջը):

Այսպիսով, Նյուտոնը փորձնականորեն ապացուցեց, որ սպիտակ լույսն ունի բարդ կառուցվածք՝ այն տարբեր գույնի, այսինքն՝ տարբեր հաճախություններ ունեցող լույսային փնջերի միավորում է: Պրիզմայի միջոցով սպիտակ լույսի վերածումը սպեկտրի կարելի է բացատրել հետևյալ կերպ:

Պրիզմայով անցնելիս տարբեր գույնի լուսային ճառագայթները շեղվում են տարբեր անկյուններով: Ճառագայթի θ շեղման անկյունը կախված է պրիզմայի նյութի բեկման ցուցչից, ճառագայթի անկման α անկյունից և պրիզմայի φ բեկող անկյունից (տե՛ս § 74): Պրիզմայի վրա ընկնող սպիտակ լույսի բոլոր ճառագայթների համար α և φ անկյունները միևնույնն են, հետևաբար՝ տարբեր գույնի ճառագայթների շեղման անկյունների տարբերությունը պայմանավորված է միմիայն այդ ճառագայթների համար պրիզմայի բեկման ցուցչի տարբեր արժեքներով: Այսպիսով՝ պրիզմայի նյութի բեկման ցուցչի արժեքը կախված է պրիզմայով անցնող լույսի գույնից՝ նրա հաճախությունից: ***Միջավայրի բեկման ցուցչի կախումը լույսի հաճախությունից (կամ ալիքի երկարությունից) կոչվում է դիսպերսիա*** (լատիներեն «դիսպերսիո»՝ ցրում բառից):

Սպիտակ լույսի բարդ կառուցվածքով է բացատրվում շրջապատի առարկաների գունավորումը: Կանաչ խոտը կամ ծառի տերևը կլանում են լույսի բոլոր ճառագայթները, բացառությամբ կանաչի, որոնք, անդրադառնալով և ընկնելով մեր աչքի մեջ, կանաչ գույնի տպավորություն են ստեղծում: Սպիտակ թուղթը, ի տարբերության տերևի, անդրադարձնում է լույսի բոլոր գույնի ճառագայթները, և այն մեզ թվում է սպիտակ: Եթե թուղթը ներկենք որևէ գույնով, օրինակ՝ կապույտ, ապա թուղթը կանդրադարձնի միայն կապույտ գույնի ճառագայթները, և մենք թուղթը կտեսնենք կապույտ գույնի: Սև մարմինները կլանում են լույսի բոլոր գույնի ճառագայթները, և ոչ մի անդրադարձում չի կատարվում, այսինքն՝ մեր աչքին ոչ մի գույնի անդրադարձած ճառագայթ չի ընկնում, և այն մեզ թվում է սև: Այսպիսով՝ առարկայի գույնը տվյալ առարկայի կողմից լույսի կլանման հատկության դրսևորում է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչն են անվանում լույսի դիսպերսիա:*
2. *Ի՞նչ է սպիտակ լույսը:*
3. *Ո՞ր համարով է նշված այն լուսային ճառագայթի գույնը, որն ապակե պրիզմայով անցնելիս բոլորից քիչ է շեղվում՝ 1. կանաչ, 2. կարմիր, 3. կապույտ, 4. մանուշակագույն, 5. դեղին:*
4. *Ապակե պրիզմայով անցնելիս սպիտակ լույսն ինչու՞ է տրոհվում տարբեր գույնի լուսային ճառագայթների:*
5. *Ո՞ր համարով է նշված այն լուսային ճառագայթի գույնը, որի բեկման ցուցիչը տվյալ միջավայրում ամենամեծն է՝ 1. կանաչ, 2. կարմիր, 3. կապույտ, 4. մանուշակագույն, 5. դեղին:*
6. *Ո՞ր համարով է նշված այն լուսային ճառագայթի գույնը, որի բեկման ցուցիչը տվյալ միջավայրում ամենափոքրն է՝ 1. կանաչ, 2. կարմիր, 3. կապույտ, 4. մանուշակագույն, 5. դեղին:*
7. *Ի՞նչ գույնի կերևա կանաչ խոտը, եթե այն դիտենք կարմիր ապակու միջով: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*

Քրիստիան Հյույգենս (1629–1695)

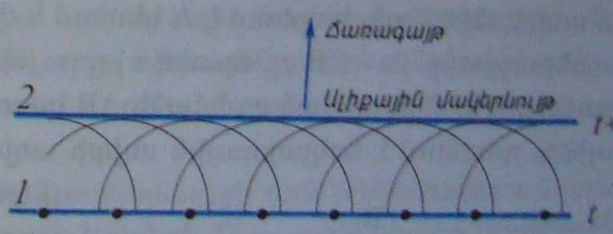
Հոլանդացի ֆիզիկոս, մաթեմատիկոս և աստղագետ: Ստեղծել է օպտիկայի ալիքային տեսությունը: Հայտնաբերել է բևեռացում: Ստեղծել է ժամացույցի ճոճանակային մեխանիզմ: Հիմնավորել է ալիքային և ֆիզիկական ճոճանակների տատանման պարզագույն բանաձևերը:

§ 82. Հյույգենսի սկզբունքը: Լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքների արտածումը

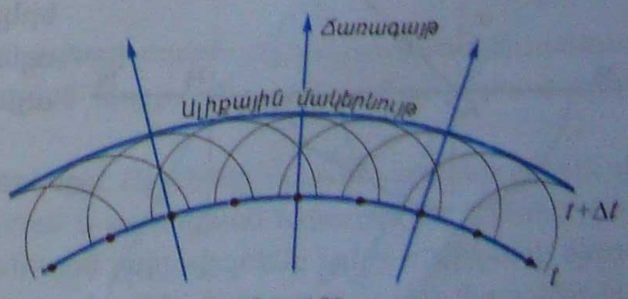
Լույսի ուղղագիծ տարածման, անդրադարձման և բեկման օրենքները հաստատվել են փորձնական ճանապարհով: Սակայն այդ օրենքները կարելի է տեսականորեն արտածել նաև լույսի ալիքային տեսության շրջանակներում՝ հիմք ընդունելով ալիքային պրոցեսի (այդ թվում՝ նաև լուսային ալիքների) բնորոշ մի սկզբունք, որն առաջին անգամ 1690թ. ձևակերպել է հոլանդացի ֆիզիկոս Ք. Հյույգենսը:

Հյույգենսի սկզբունքը: *Համաձայն Հյույգենսի սկզբունքի՝ միջավայրի յուրաքանչյուր կետ, որին տվյալ պահին հասել է ալիքային մակերևույթը (ալիքային շարժումը, գրգռումը), ինքն է դառնում երկրորդային ալիքների աղբյուր, որոնց պարուրիչը (բոլոր երկրորդային ալիքները շոշափող մակերևույթը) որոշում է ալիքային մակերևույթը ժամանակի հաջորդ պահերին: Ալիքային մակերևույթի բոլոր կետերը տատանվում են համափուլ:*

Գիտենալով ալիքային մակերևույթի դիրքը ժամանակի t պահին, Հյույգենսի սկզբունքի օգնությամբ կարելի է երկրաչափական կառուցման միջոցով գտնել ալիքային մակերևույթի դիրքը հաջորդ՝ $t+\Delta t$ պահին, եթե հայտնի է ալիքի տարածման v արագությունը: Օրինակ՝ նկ. 150-ում պատկերված է հարթ ալիքի մակերևույթը ժամանակի t պահին: Այդ պահից սկսած մակերևույթի յուրաքանչյուր կետ դառնում է երկրորդային ալիքի աղբյուր: Ժամանակի $t+\Delta t$ պահի համար կառուցելով երկրորդային ալիքների պարուրիչը՝ կստանանք ալիքային մակերևույթն այդ պահի համար: Նկ. 150-ում յուրաքանչյուր կետ տրված նաև ալիքային մակերևույթին ուղղահայաց ուղիղը, որով տարածվում է ալիքը: Այն անվանում են ճառագայթ (տե՛ս նաև § 70): Այսպիսով՝ ալիքը տարածվում է ճառագայթի ուղղությամբ: Նկ. 151-ում պատկերված են գնդային ալիքի մակերևույթները ժամանակի t և $t+\Delta t$ պահերին և ճառագայթները:

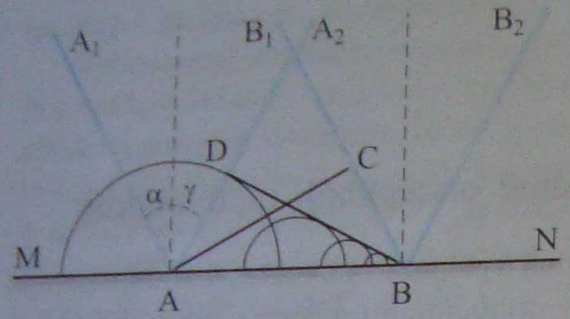


Նկ. 150



Նկ. 151

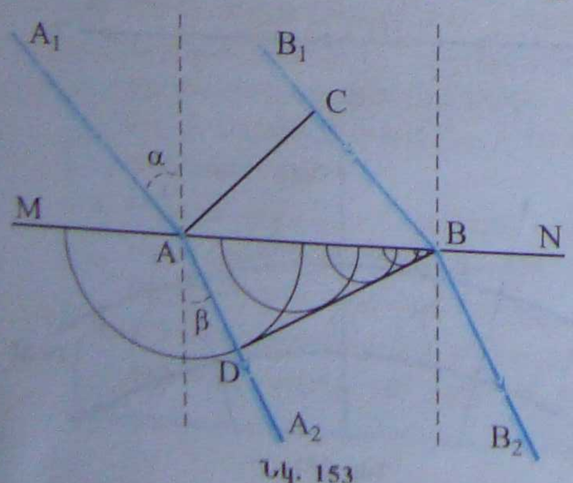
Լույսի անդրադարձման օրենքի արտածումը: Ենթադրենք՝ երկու միջավայրերի բաժանման MN սահմանին ընկնում է հարթ ալիք, որը նկ. 152-ում ներկայացված է A_1A և B_1B զուգահեռ ճառագայթների տեսքով: AC-ն ալիքային մակերևույթն է: AA_2-ը և BB_2-ը անդրադարձած ճառագայթներն են: Քանի որ լույսն անկյան տակ է ընկնում MN սահմանին, ապա ալիքային AC մակերևույթի տարբեր տեղամասեր տարբեր ժամանակներում են հասնում այդ սահմանին: Ալիքն առաջինը սահմանին հասնում է A կետում՝ գրգռելով երկրորդային ալիք, ամենավերջինը՝ B կետում: Վերջինս ուշանում է լրացուցիչ CB ճանապարհ անցնելու պատճառով: A_1A և B_1B ճառագայթների՝ MN մակերևույթին հասնելու ժամանակների տարբերությունը որոշվում է $\Delta t = CB/v$ արտահայտությամբ, որտեղ v-ն ալիքի տարածման արագությունն է: Δt ժամանակում A կետում գրգռված երկրորդային ալիքն անցնում է AD ճանապարհ: Այստեղից՝ $AD = v\Delta t = CB$: Համաձայն Հյուգենսի սկզբունքի՝ MN մակերևույթին ալիքի հասնելուց Δt ժամանակ անց ունենք նոր՝ երկրորդային գնդային ալիքներ, որոնց շոշափող BD հարթությունն անդրադարձած ալիքի ալիքային մակերևույթն է: Այն, ըստ սահմանման, ուղղահայաց է անդրադարձած AA_2 և BB_2 ճառագայթներին: Քանի որ $AD = CB$, և ABC ու ADB եռանկյուններն ուղղանկյուն են, ապա $\angle CAB = \angle DBA$: Մյուս կողմից՝ $\alpha = \angle CAB$ և $\gamma = \angle DBA$, ուրեմն՝ $\alpha = \gamma$:



Նկ. 152

Կառուցումից երևում է նաև, որ ընկնող ու անդրադարձած ճառագայթները և անկման կետում բաժանման մակերևույթին տարված ուղղահայացը գտնվում են նույն հարթության մեջ:

Լույսի բեկման օրենքի արտածումը: Դիցուք՝ լույսի հարթ ալիքն ընկնում է երկու թափանցիկ միջավայրերի ընդհանուր MN սահմանին: Նկ. 153-ում պատկերված են երկու՝ A_1A և B_1B ճառագայթները և AC ալիքային մակերևույթը: Ալիքային մակերևույթի տարբեր տեղամասեր միաժամանակ չեն հասնում մակերևույթին: Լուսային ալիքը բաժանման սահմանին նախ հասնում է A կետում և վերջում՝ B կետում: Ժամանակային այդ տարբերությունը՝ $\Delta t = CB/v_1$, որտեղ v_1-ը լույսի տարածման արագությունն է առաջին միջավայրում: Բաժանման սահմանի AB հատվածի յուրաքանչյուր կետ, ուր հասնում է ալիքը, դառնում է երկրորդային ալիքի աղբյուր: Այն պահին, երբ B կետում նոր է գրգռվում երկրորդային ալիք, A կետում գրգռված երկրորդային ալիքն անցած է լինում AD ճանապարհ՝ $AD = v_2\Delta t$, որտեղ v_2-ը երկրորդ միջավայրում լույսի տարածման արագությունն է: Քանի որ $\alpha = \angle CAB$, ապա այն կարելի է գտնել ΔABC-ից՝



Նկ. 153

$$\sin\alpha = \frac{CB}{AB} = \frac{v_1\Delta t}{AB}:$$

Մյուս կողմից, $\beta = \angle ABD$, ուստի՝

$$\sin\beta = \frac{AD}{AB} = \frac{v_2\Delta t}{AB}:$$

Այս հիմնարարությունից հետևում է α և β անկյունների միջև հետևյալ առնչությունը՝

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2}:$$

Ապացուցված հարաբերությունը տարածված արտահայտությամբ է, սակայն ընդհանուր դեպքում $\alpha \neq \beta$: Այսպիսով, լույսի բեկման արտահայտված է մի միջավայրից մյուսը անցնելիս լույսի արագությունների փոխհարաբերությամբ, որտեղ v_1-ն առաջին միջավայրում լույսի արագությունն է, v_2-ը՝ երկրորդում, որտեղ $v_2\Delta t$, որտեղ v_2-ը երկրորդում լույսի արագությունն է, Δt ժամանակահատվածում անցած ճանապարհն է: Δt ժամանակում v_1 արագությամբ լույսը անցնում է AC հեռավորությունը, որտեղ $AC = CB$, և $\triangle ABC$ հավասարասրուն է, $\angle C$-ի գագաթը՝ $\alpha = \angle CAB$, ապա $\angle A$: Այս կոչվում

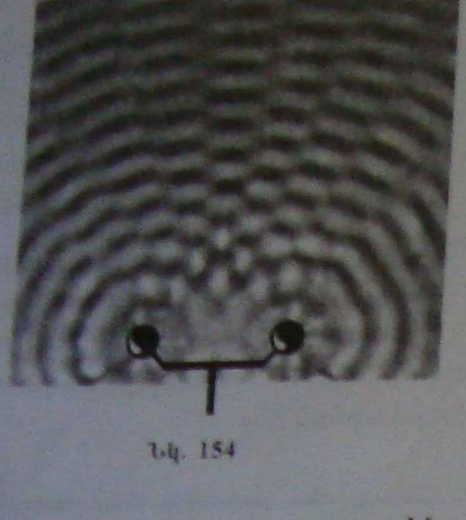
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպեք Հյուգենսի սկզբունքը:* 2. *Ի՞նչ է արգելքի ճակատային:*

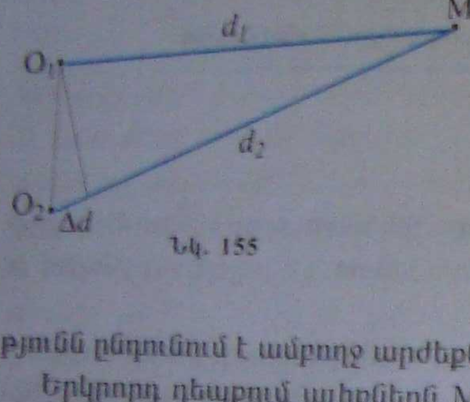
§ 83. Լույսի ինտերֆերենցը

Լույսը մի շարք հրնույթների ցույաբերում է արգելքը հաստությունները: Էկոսկոպ երևույթներից է լույսի ինտերֆերենցը: Ինտերֆերենցը հաստատ է բոլոր արգելքների և ձեռնամիասին, և՝ էլեկտրամագնիսական:

Արգելքի վերամուծը: Երբ արգելքից առնա է արգելքի մի քանի արդյունք, օրինակ՝ սեղմատ զրույցում են ճարպիկ, նաև ճիաթաղում է ճիաթաղ, առնա արգելքի վերամուծը են *վերամուծում են (զրույցում են) ճարպիկի*: Պետք է ասել, որ ճիաթաղ ասելով մենք հասկանում ենք ոչ միայն ճիաթաղ, այլև ցանկացած այլ ճիաթաղ, որը կարող է ճիաթաղ անել ճիաթաղի համար:



Նկ. 154



Նկ. 155

ին՝ կլինի, երբ, տարածվելով, այդ ալիքները հանդիպեն որևէ M կետում (նկ. 155): Մինչև M կետ հասնելն այդ ալիքներն անցնում են տարբեր ճանապարհներ՝ d_1 և d_2, որոնց Δd տարբերությունն անվանում են ***ընթացքի տարբերություն***: M կետ հասած ալիքների վերադրման արդյունքը կախված է այն բանից, թե ալիքներն այդ կետում ինչ շեղումներ ունեն: Հնարավոր է երեք դեպք:

Առաջին դեպքում ալիքներն M կետում հանդիպում են՝ ունենալով նկ. 156,ա-ում պատկերված տեսքերը: Այդ դեպքում նրանք, վերադրվելով, ուժեղանում են: Նման դեպք հնարավոր է, եթե Δd հեռավորության վրա տեղավորվում է ամբողջ թվով ալիք: Այսպիսով՝ միջավայրի տվյալ կետում արդյունարար տատանման լայնությը կլինի առավելագույնը, եթե այդ կետում տատանումներ գրգռող երկու ալիքների ընթացքի տարբերությունը հավասար է ամբողջ թվով ալիքի երկարության՝

$$\Delta d = k\lambda\,, \qquad (8.1)$$

որտեղ λ-ն ալիքի երկարությունն է, իսկ k մեծությունն ընդունում է ամբողջ արժեքներ՝ $k = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots$:

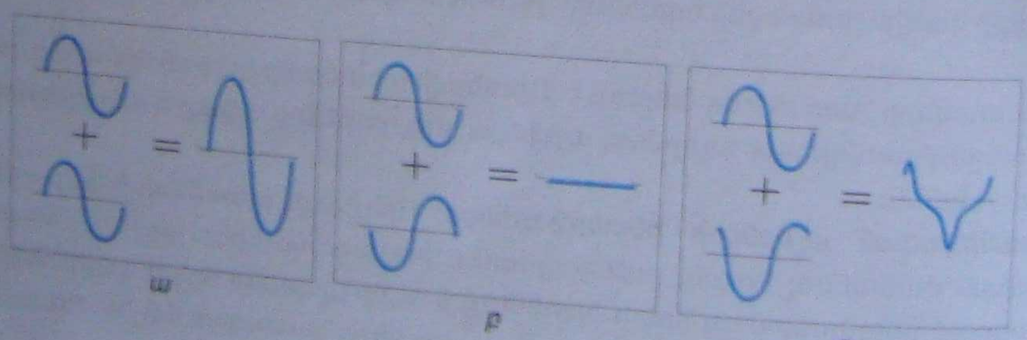
Երկրորդ դեպքում ալիքներն M կետում հանդիպում են՝ ունենալով նկ. 156,բ-ում պատկերված տեսքերը: Այս դեպքում նրանք, վերադրվելով, միմյանց մարում են: Նման դեպք հնարավոր է, եթե Δd հեռավորության վրա տեղավորվում է կենտ թվով կիսաալիք:

Այսպիսով, միջավայրի տվյալ կետում արդյունարար տատանման լայնությը կլինի նվազագույնը, եթե այդ կետում տատանումներ առաջացնող երկու ալիքների ընթացքի տարբերությունը՝

$$\Delta d = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}\,, \qquad (8.2)$$

որտեղ $k = 0, 1, 2 \ldots$:

Եթե O_1 և O_2 աղբյուրներն առաքում են նույն լայնությով ալիքներ, և կարելի է ալիքների մարումը d_1 և d_2 ճանապարհների վրա անտեսել, ապա նվազագույն լայնությը հավասարվում է զրոյի:



ա բ գ

Նկ. 156

Երրորդ դեպքում ալիքներն M կետ են հասնում՝ ունենալով նկ. 156,գ-ում պատկերված տեսքերը: Այդ դեպքում վերադրման արդյունքում արդյունարար տատանման լայնույթը հավասարվում է նվազագույնի և առավելագույնի միջև ընկած որևէ միջանկյալ արժեքի:

Նկ. 157

Այսպիսով, ալիքները O_1 և O_2 կետերից տարածվելով և հանդիպելով տարածության որոշ կետերում, ուժեղանում են, որոշ կետերում՝ մարում, մյուսներում տատանումների լայնույթն ընդունում է միջանկյալ արժեքներ: Ամենակարևորն այն է, որ եթե որևէ կետում առաջանում է ալիքների ուժեղացում, ապա այն ժամանակի ընթացքում չի փոխվում, այսինքն՝ այդ կետում արդյունարար տատանման լայնույթը մնում է հաստատուն: Նույնը՝ մարման կետերում և ամենուրեք: Ջրի մակերևույթին առաջանում է լայնույթների որոշակի, ժամանակի ընթացքում անփոփոխ բաշխում, որը կոչվում է ***ինտերֆերենցային պատկեր***, իսկ երևույթը կոչվում է մեխանիկական ալիքների ***ինտերֆերենց***:

Նկ. 157-ում տրված է երկու աղբյուրներից տարածվող շրջանային ալիքների ինտերֆերենցային պատկերի լուսանկարը: Ալիքների վերադրման մասում սպիտակ տեղամասերը համապատասխանում են տատանումների լայնույթի առավելագույն, իսկ մութ տեղամասերը՝ նվազագույն արժեքներին: ***Տարածության մեջ ալիքների վերադրումը, որի արդյունքում առաջանում է արդյունարար տատանման լայնույթների՝ ժամանակի ընթացքում անփոփոխ բաշխում, կոչվում է ինտերֆերենց:***

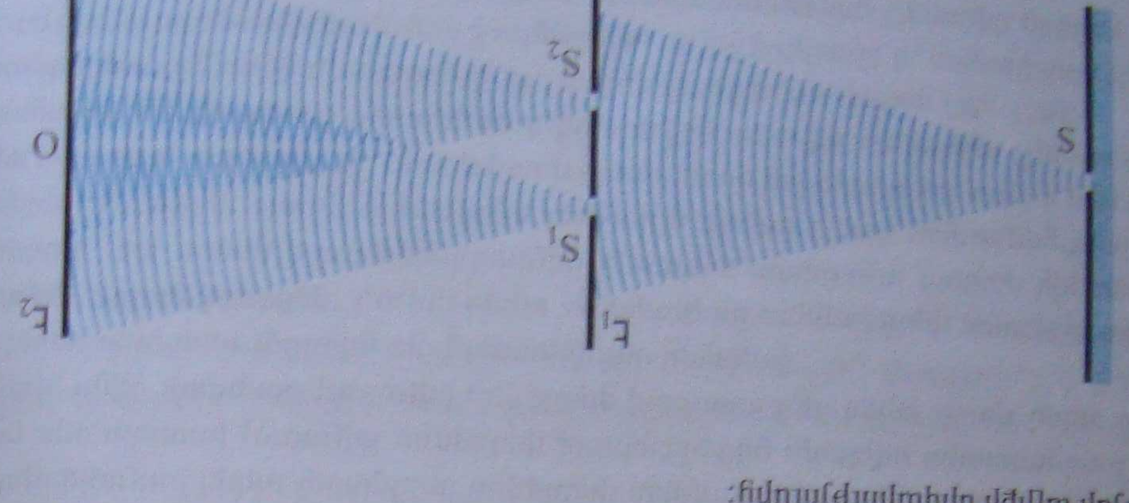
Կոհերենտ ալիքներ: Կայուն ինտերֆերենցային պատկեր ստանալու համար անհրաժեշտ է երկու պայման: Նախ՝ որ ալիքներն ունենան նույն ալիքի երկարությունը կամ հաճախությունը: Այդպիսի ալիքներն անվանում են ***մեներանգ***: Երկրորդ՝ անհրաժեշտ է, որ նրանց տատանումների փուլերի տարբերությունը ժամանակի ընթացքում չփոխվի: (Վերը նկարագրված փորձում երկու գնդիկների կատարած տատանումների փուլերի տարբերությունը հաստատուն էր և հավասար զրոյի:)

Այս երկու պայմաններին բավարարող ալիքները կոչվում են ***կոհերենտ:*** Միայն կոհերենտ ալիքների վերադրման ժամանակ է գոյանում ***կայուն ինտերֆերենցային պատկեր:***

Օպտիկայում երկու կոհերենտ ալիքների աղբյուր ստանալը համեմատաբար բարդ է: Այդ պատճառով լուսային ալիքների ինտերֆերենց դիտելիս օգտագործում են մեկ աղբյուր, որից առաքած լուսային ալիքները բաժանում են երկու մասի՝ երկու ճեղքերի կամ երկու մակերևույթներից անդրադարձման միջոցով:

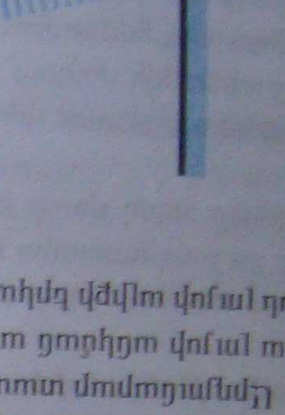
Լույսի ինտերֆերենցը: Լույսի երկու սովորական աղբյուրների առաքած ալիքները կոհերենտ չեն, ուստի ինտերֆերենցային պատկեր ստանալու համար կիրառվում են տարբեր մեթոդներ: Բոլոր մեթոդների էությունը նույնն է՝ մեկ աղբյուրից արձակված ալիքը բաժանել երկու մասի, որոնք իրար նկատմամբ կոհերենտ են, ուստի այդ մասերի վերադրման արդյունքում ստացվում է ինտերֆերենցային պատկեր: Որպես օրինակ դիտարկենք անգլիացի գիտնական Թ.Յունգի նշանավոր փորձը (նկ. 158):

Նեղ ճեղքի տեսք ունեցող լույսի S աղբյուրից լույսն ընկնում է E_1 անթափանց էկրանին, որի վրա արված են S_1 և S_2 նեղ ճեղքերը: Դրանք աղբյուրից էկրանին ընկնող փունջը ճեղքում են երկու կոհերենտ փնջի, որոնք վերադրվում են E_2 էկրանին՝ տալով իրար հաջորդող լուսավոր և մութ շերտեր:



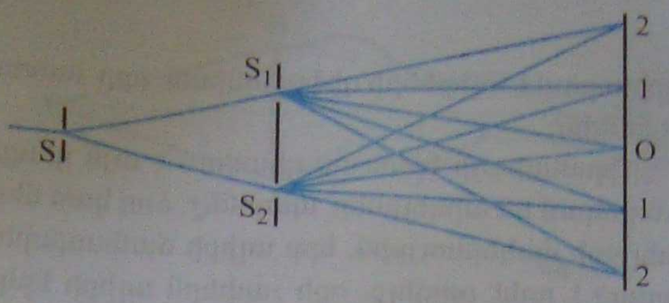
Նկ. 158

Լույսի ինտերֆերենցիոն բաժանման հոմանի: Լույսի ինտերֆերենց կարելի է ստանալ ևս մեկ ինտերֆերենցիոն սխեմայի միջոցով, որը հայտնի է Յունգի փորձերից անվանի մարդու անունով: Օգտագործվում են օգտագործվում մոնոխրոմատիկ լույսի ինտերֆերենցիայի երևույթները: Ունենք լույսի աղբյուր՝ S նեղ ճեղքը (նկ. 158): Ճեղքի հարթությանը զուգահեռ տեղադրված են երկու նեղ զուգահեռ ճեղքեր՝ S_1 և S_2, որոնք գտնվում են S ճեղքից հավասար հեռավորությունների վրա: Ճեղքերի հարթությանը զուգահեռ տեղադրված է էկրան՝ E: Ճեղքերից դուրս եկող լույսի ալիքները, ընկնելով էկրանի վրա, ինտերֆերենցիայի երևույթի հետևանքով առաջացնում են մութ և լուսավոր շերտեր:

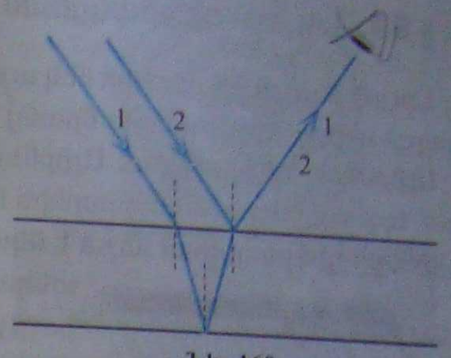


Դիտարկենք ճեղքերից ավելի մանրամասն ինտերֆերենցիոն պատկերը E₂ էկրանի: Էկրանի O կետում, որը հավասարապես է հեռացած երկու ճեղքերից, ալիքների ընթացքի տարբերությունը հավասար է զրոյի, հետևաբար ալիքների ուժեղացում է տեղի ունենում (նկ. 159): Նման երևույթ տեղի կունենա նաև այնպիսի կետերում, որոնց հասնող ալիքների ընթացքի տարբերությունը հավասար է ամբողջ թվով ալիքների կիսաերկարների: Այդ կետերում, ընդհակառակը, տեղի կունենա ալիքների ճնշում, որոնց միջև ընթացքի տարբերությունը հավասար է կեցտ թվով կիսաալիքների: Էկրանի մնացած կետերում էլիպսների կերտնա լուսավոր, նույն թանձրության շերտեր:

Լույսի ինտերֆերենցիոն բաժանման հոմանի: Լույսի ինտերֆերենց կարելի է ստանալ ևս մեկ եղանակով: Ինտերֆերենցիայում են տեղել երեք ճաքեր, որոնք ճառագայթահանում են միևնույն աղբյուրից: Օճառի պոչաձևանման փառքի վրա ինտերֆերենցիայի են օճառի մոլեկուլների միջև եղած հեռավորությունները: Այս երևույթի հիման վրա՝ ծխաջրածնային նյութերի մոլեկուլների չափերը որոշելու համար ինտերֆերենցիայի են ստացել ճառագայթներ: Ճեղքերից դուրս եկող լույսի ալիքները, ընկնելով էկրանի վրա, տալիս են ինտերֆերենցիոն պատկեր՝ մութ և լուսավոր շերտեր: Ինտերֆերենցիոն պատկերի միջոցով հնարավոր է որոշել լույսի ալիքի երկարությունը: Այդ եղանակով լույսի ալիքի երկարությունը որոշել է անգլիացի գիտնական Թոմաս Յունգը (1773–1829):



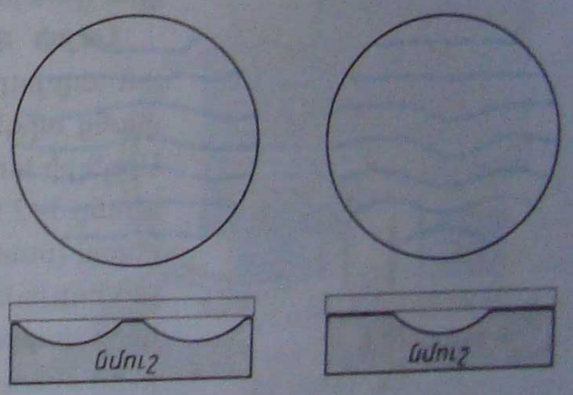
Նկ. 159



Նկ. 160

Յունգը բացատրեց նաև օճառի պղպջակի գունավորման պատճառը: Եթե ենթադրենք, որ անկման անկյունը չի փոխվում, ապա թվում է, թե ինտերֆերենցի երևույթը պետք է տեղի ունենար միայն մի ալիքի երկարության համար, այսինքն՝ որևէ գույնի լույսի համար: Սակայն փոխվում է ինչպես պղպջակի պատի հաստությունը, այնպես էլ նրա տարբեր կետերում ալիքի անկման անկյունը: Այդ պատճառով էլ թաղանթի տարբեր կետերում տարբեր ալիքի երկարություն ունեցող լուսային ալիքներ են բավարարում ինտերֆերենցի ուժեղացման կամ թուլացման պայմաններին, և օճառի պղպջակը գունավորվում է տարբեր գույներով:

Ինտերֆերենցի մի կիրառության մասին: Լույսի ինտերֆերենցի երևույթի կիրառություններից մեկն արտադրանքի մակերևույթի մշակման որակի գնահատումն է մինչև $0{,}1\lambda \sim 10^{-8}$ մ ճշգրտությամբ: Դրա համար պետք է արտադրանքի ստուգվող մակերևույթին տեղադրել հարթ չափանմուշային ապակե թիթեղ, լույսը գցել թիթեղի վրա և դիտել ստուգվող մակերևույթից և չափանմուշային թիթեղի ներքևի նիստից անդրադարձող լուսային ալիքների ինտերֆերենցը: Եթե մակերևույթի անհարթությունները 10^{-8} մ կարգի են կամ ավելի մեծ, ապա նրանք կառաջացնեն ինտերֆերենցային պատկերի նկատելի կորացումներ (նկ. 161): 10^{-8} մ-ից փոքր անհարթությունները լույսի ինտերֆերենցային պատկերի վրա էական ազդեցություն չեն թողնում, հետևաբար՝ այդ կարգի անհարթություններն այլևս հնարավոր չի արձանագրել:



Նկ. 161

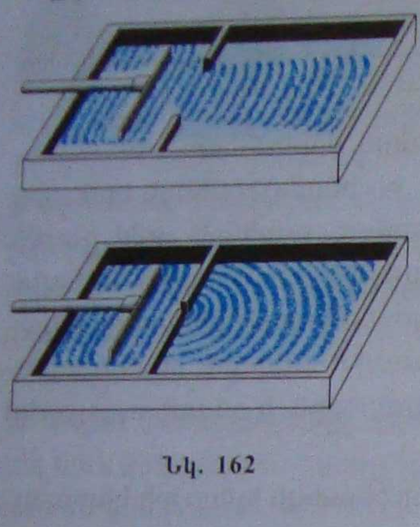
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է ալիքների ինտերֆերենցը:*
2. *Ո՞ր ալիքներն են կոչվում կոհերենտ:*
3. *Ինչպե՞ս կարելի է ստանալ կոհերենտ լուսային ալիքներ:*
4. *Ո՞րն է լույսի ինտերֆերենցի երևույթը:*
5. *Լույսի ինտերֆերենցի ի՞նչ դրսևորումներ եք դիտել կենցաղում:*
6. *Ի՞նչ կիրառություններ ունի լույսի ինտերֆերենցը:*

§ 84. Լույսի դիֆրակցիան

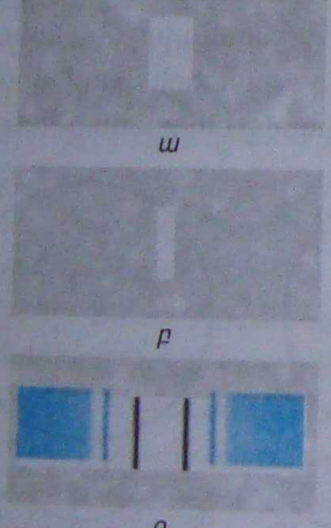
Լույսի ալիքային բնույթի մեկ այլ դրսեորում է ալիքների դիֆրակցիան, որը հատուկ է բոլոր ալիքներին՝ անկախ նրանց տեսակից:

Ալիքների դիֆրակցիա: Ալիքների դիֆրակցիայի երևույթը դիտվում է այն դեպքերում, երբ ալիքների ճանապարհին հանդիպում են արգելքներ՝ պատնեշ, ծող կամ ճեղք: Ալիքների դիֆրակցիան հեշտ է նկատել ջրի մակերևույթին, երբ ալիքի ճանապարհին տեղադրված է որևէ արգելք, որի չափերն ալիքի երկարության կարգի են՝ $d \approx \lambda$: Արգելքը կարծես ալիքը ճեղքում է երկու մասի, որոնք, ի վերջո, նորից միանում և տարածվում են մի ալիքի տեսքով:



Նկ. 162

Նման երևույթ է դիտվում նաև այն դեպքում, երբ ջրի մակերևույթին հարթ ալիքի ճանապարհին տեղադրում ենք ալիքի երկարության կարգի ճեղք (նկ. 162): Ալիքները շրջանցում են ճեղքը սահմանափակող եզրերը և հայտնվում պատնեշի ետևում, այսինքն՝ ալիքը ստանում է շրջանային ալիքին մոտ տեսք: Այս երևույթը հեշտությամբ բացատրվում է Հյույգենսի սկզբունքի օգնությամբ: Նեղ ճեղքի կետերը, որոնք կարելի է դիտել որպես երկրորդային ալիքների աղբյուրներ, առաքում են շրջանային ալիքներ, որոնք տարածվում են պատնեշի ետևում:



ա

բ

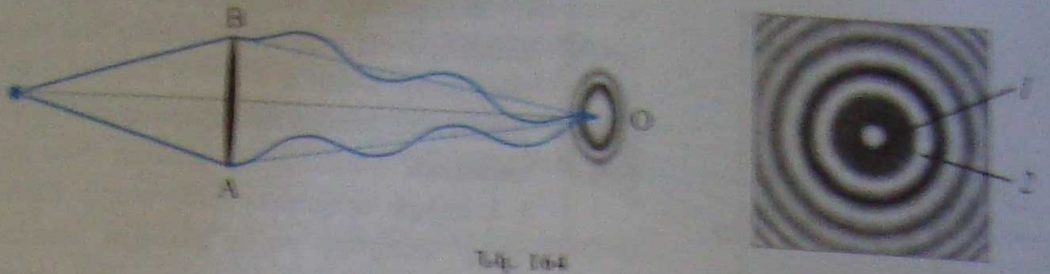
գ

Նկ. 163

Ալիքների շեղվելը տարածման սկզբնական ուղղությունից, արգելքների շրջանցման երևույթը կոչվում է ***դիֆրակցիա*** (լատիներեն «դիֆրակտուս»՝ ջարդված բառից):

Լույսի դիֆրակցիան: Մութ սենյակում լույսի կետային աղբյուրի դիմաց տեղադրենք ճեղք ունեցող անթափանց արգելք, որի ճեղքի չափերը կարելի է փոփոխել: Արգելքի ետևում տեղադրենք էկրան: Եթե ճեղքի լայնությունը 1÷2 մմ է, ապա էկրանին նկատվում է հստակ եզրերով լուսավոր շերտ (նկ. 163,ա): Փոքրացնելով ճեղքի լայնությունը՝ կնկատենք, որ էկրանին լուսավոր պատկերը փոքրանում է, բայց միաժամանակ պատկերի եզրերը սկսում են աղոտանալ (նկ. 163,բ): Ճեղքի լայնության հետագա փոքրացմանը զուգընթաց լուսավոր շերտի աջ և ձախ կողմերում ի հայտ են գալիս թույլ լուսավորված ծիածանագույն շերտեր, որոնք ցույց են տալիս, որ լույսը շրջանցում է ճեղքի անթափանց եզրերը և լուսավորում է էկրանի ստվերոտ մասերը (նկ. 163,գ): Եթե լույսի աղբյուրի առջև տեղադրենք լուսազտիչ, ապա ծիածանագույն շերտերը կվերածվեն միագույնի (տե՛ս նաև կազմի 4-րդ էջը):

Լույսի դիֆրակցիայի երևույթը բացատրելու համար կատարենք մեկ այլ փորձ: Լույսի կետային աղբյուրի առջև տեղադրենք փոքր, անթափանց սկավառակ, իսկ սկավառակի ետևում՝ էկրան (նկ. 164): Էկրանի վրա, ուղիղ սկավառակի դիմաց ստվերային տիրույթում կնկատենք լուսավոր բիծ, իսկ նրա շուրջը՝ մութ և լուսավոր շրջաններ: Այս պատկերն անվանում են ***դիֆրակտային պատկեր***:

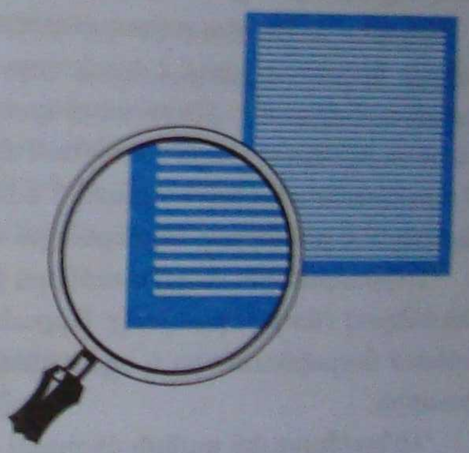


Նկ. 164

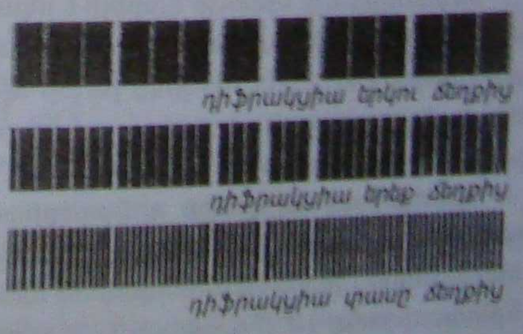
Ինչպե՞ս կարելի է բացատրել այս երևույթը: Երբ լույսը հասնում է սպասարակի եզրերին, ապա, ըստ Հյույգենսի սկզբունքի, այդ կետերը դառնում են նոր երկրորդային ալիքների աղբյուրներ, որոնցից լույսը տարածվում է՝ հասնելով էկրանին: Այդպիսի երկու աղբյուր են նկ. 164-ում A և B կետերը: Ի դեպ, այդ աղբյուրները կոհերենտ են, քանի որ նույն կետային աղբյուրի ծնունդ են: Այդ աղբյուրների ալիքները կհասնեն էկրանին և կվերադրվեն, այսինքն՝ տեղի կունենա ալիքների ինտերֆերենց: Մյուս կողմից, մենք գիտենք, որ ինտերֆերենցի արդյունքում լուսային ալիքները կամ ուժեղացնում են միմյանց, կամ՝ թուլացնում: Քանի որ AO = BO, ուրեմն այդ երկու ալիքների ընթացքների տարբերությունը հավասար է զրոյի և, հետևաբար, տեղի է ունենում ուժեղացում: Այլ կերպ ասած՝ այդ կետում մենք ունենում ենք ուժեղացված լույս: A և B աղբյուրների արձակած ալիքները 1 շերտում մարում են միմյանց, քանի որ դրանց ընթացքների տարբերությունը հավասար է կես ալիքի: 2 շերտում A և B աղբյուրների ալիքներն ուժեղացնում են միմյանց. այս դեպքում դրանց ընթացքների տարբերությունը հավասար է մեկ ամբողջ ալիքի երկարության: Նույն կերպ առաջանում են հաջորդ մութ և լուսավոր շերտերը:

Դիֆրակտային ցանց: Ձեղքով փորձում դիֆրակտային պատկերն այնքան էլ հստակ չէ, ինչը պայմանավորված է նախ նրանով, որ մեկ ձեղքով քիչ լույս է անցնում, և, բացի այդ, ինտերֆերենցային շերտերը բավականաչափ լայն են, հետևաբար՝ թույլ լուսավորված: Հստակ դիֆրակտային պատկերներ ստանալու համար օգտագործում են դիֆրակտային ցանցեր: Դիֆրակտային ցանցը լավ հղկված ապակի է, որի վրա իրարից նույն հեռավորությամբ տարված են բարակ նրբագծեր (խազեր): Նրբագծերի քիվը 1 մմ-ի վրա կարող է լինել 100, 300, 1000 և այլն (նկ. 165): Լույսն անցնում է նրբագծերի արանքով և չի անցնում նրբագծերով:

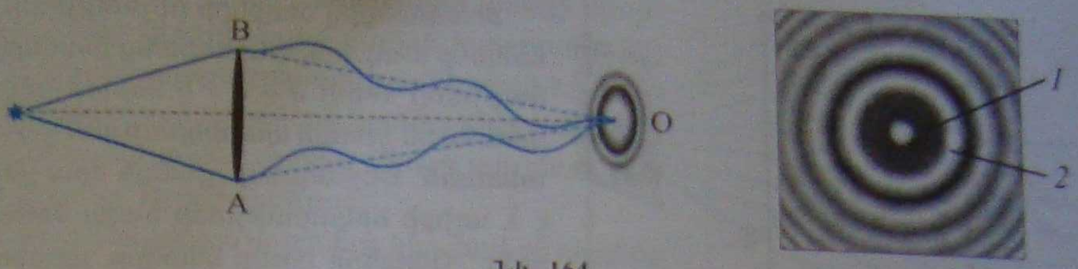
Եթե մեներանգ լույս գցենք նման դիֆրակտային ցանցի վրա, ապա էկրանին կնկատենք հստակ դիֆրակտային պատկեր՝ կենտրոնական շերտ և նրա շուրջը հավասար հեռավորությունների վրա այլ նեղ շերտեր (նկ. 166):



Նկ. 165



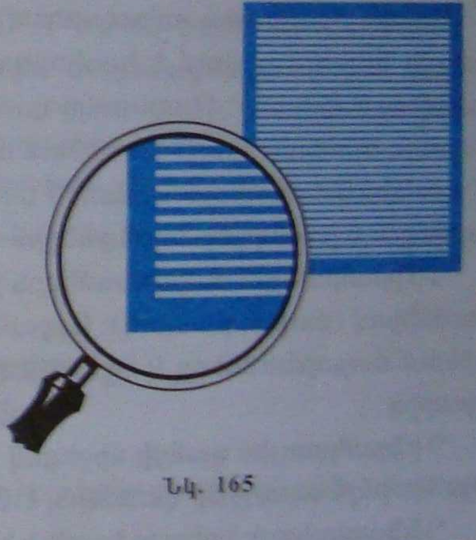
Նկ. 166



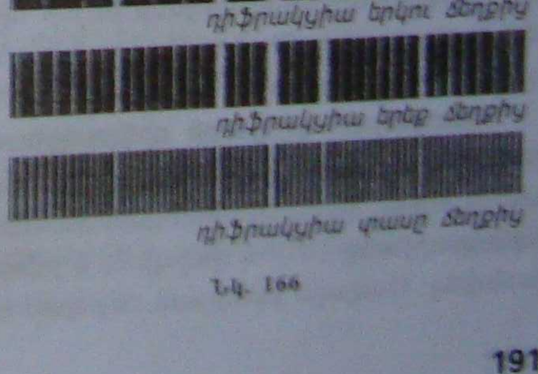
Նկ. 164

Ինչպե՞ս կարելի է բացատրել այս երևույթը: Երբ լույսը հասնում է սկավառակի եզրերին, ապա, ըստ Հյույգենսի սկզբունքի, այդ կետերը դառնում են նոր երկրորդային ալիքների աղբյուրներ, որոնցից լույսը տարածվում է՝ հասնելով էկրանին: Այդպիսի երկու աղբյուր են նկ. 164-ում A և B կետերը: Ի դեպ, այդ աղբյուրները կոհերենտ են, քանի որ նույն կետային աղբյուրի ծնունդ են: Այդ աղբյուրների ալիքները կհասնեն էկրանին և կվերադրվեն, այսինքն՝ տեղի կունենա ալիքների ինտերֆերենց: Մյուս կողմից, մենք գիտենք, որ ինտերֆերենցի արդյունքում լուսային ալիքները կամ ուժեղացնում են միմյանց, կամ՝ թուլացնում: Քանի որ AO = BO, ուրեմն այդ երկու ալիքների ընթացքների տարբերությունը հավասար է զրոյի և, հետևաբար, տեղի է ունենում ուժեղացում: Այլ կերպ ասած՝ այդ կետում մենք ունենում ենք ուժեղացված լույս: A և B աղբյուրների արձակած ալիքները 1 շերտում մարում են միմյանց, քանի որ դրանց ընթացքների տարբերությունը հավասար է կես ալիքի: 2 շերտում A և B աղբյուրների ալիքներն ուժեղացնում են միմյանց. այս դեպքում դրանց ընթացքների տարբերությունը հավասար է մեկ ամբողջ ալիքի երկարության: Նույն կերպ առաջանում են հաջորդ մութ և լուսավոր շերտերը:

Դիֆրակտային ցանց: Ձեղքով փորձում դիֆրակտային պատկերն այնքան էլ հստակ չէ, ինչը պայմանավորված է նախ նրանով, որ մեկ ձեղքով քիչ լույս է անցնում, և, բացի այդ, ինտերֆերենցային շերտերը բավականաչափ լայն են, հետևաբար՝ թույլ լուսավորված: Հստակ դիֆրակտային պատկերներ ստանալու համար օգտագործում են դիֆրակտային ցանցեր: Դիֆրակտային ցանցը լավ հղկված ապակի է, որի վրա իրարից նույն հեռավորությամբ տարված են բարակ նրբագծեր (խազեր): Նրբագծերի թիվը 1 մմ-ի վրա կարող է լինել 100, 300, 1000 և այլն (նկ. 165): Լույսն անցնում է նրբագծերի արանքով և չի անցնում նրբագծերով:

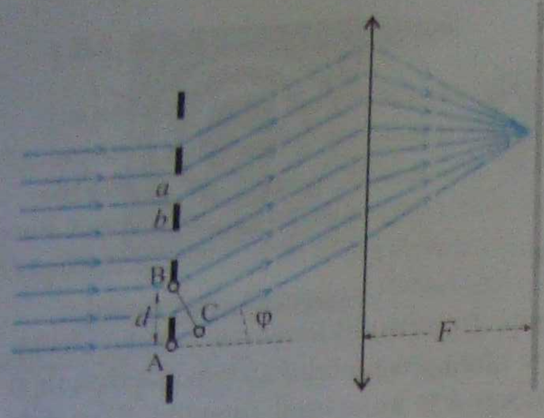


Նկ. 165



Նկ. 166

Եթե մեներանգ լույս գցենք նման դիֆրակտային ցանցի վրա, ապա էկրանին կնկատենք հստակ դիֆրակտային պատկեր՝ կենտրոնական շերտ և նրա շուրջը հավասար հեռավորությունների վրա այլ նեղ շերտեր (նկ. 166):



Նկ. 167

Թափանցիկ ճեղքերի լայնությունը նշանակենք a-ով, իսկ անթափանց խազերի լայնությունը՝ b-ով: $d = a + b$ մեծությանն անվանում են ***ցանցի պարբերություն*** կամ ***հաստատուն***: Ենթադրենք՝ ցանցի վրա ընկնում է λ ալիքի երկարությամբ հարթ մեներանգ ալիք: Ճեղքերի բոլոր կետերը, որպես երկրորդային ալիքների աղբյուրներ, բոլոր ուղղություններով առաքում են ալիքներ:

Դիտարկենք այդ ալիքների տարածումն անկման ուղղության նկատմամբ φ անկյան տակ և որոշենք այն պայմանը, որի դեպքում ալիքներն ուժեղացնում են միմյանց (նկ. 167): Հարևան ճեղքերից եկող ալիքների ընթացքի տարբերությունը հավասար է AC հատվածի երկարությանը: Եթե այդ հատվածի վրա ամբողջ թվով ալիքի երկարություն է տեղավորվում, ապա բոլոր ճեղքերից եկող ալիքները, վերադրվելով, կուժեղացնեն իրար: ABC եռանկյունից՝ $AC = AB\sin\varphi = d\sin\varphi$: Մաքսիմումները կդիտվեն

$$d\sin\varphi = k\lambda \qquad (8.3)$$

պայմանից որոշվող φ անկյան տակ, որտեղ $k = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots$: (8.3) առնչությունը կոչվում է ***դիֆրակտային մաքսիմումի պայման:***

Տարբեր ճեղքերից տվյալ ուղղությամբ անցած ալիքների վերադրման նպատակով ցանցի ետևում դրվում է հավաքող ոսպնյակ, որի կիզակետային հարթության մեջ գտնվում է էկրանը: Ոսպնյակը զուգահեռ ընկնող ճառագայթները կիզակետում է մի կետում, որտեղ էլ տեղի է ունենում ալիքների վերադրումը և փոխադարձ ուժեղացումը: Մաքսիմումների դիրքը էկրանին ստացվում է դիֆրակցիայի պայմանին բավարարող, այսինքն՝ k-ի տարբեր արժեքներին համապատասխանող անկյունների տակ:

Դիֆրակտային մաքսիմումներն իրարից բաժանված են լուսավորվածության մինիմումներով (մութ շերտերով): Որքան մեծ է ճեղքերի թիվը, այնքան ավելի ցայտուն են երևում մաքսիմումները և այնքան ավելի լայն մինիմումներով են դրանք բաժանված իրարից:

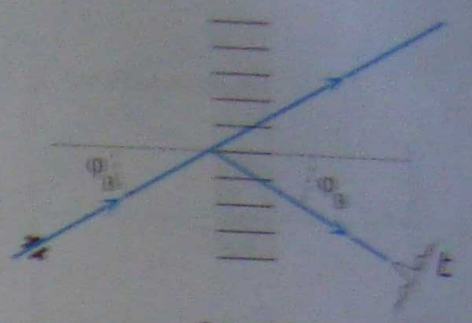
Դիֆրակտային ցանցի միջոցով կարելի է ճշգրիտ չափել լուսային ալիքի երկարությունը, ինչն առաջինը կատարել է Յունգը:

Դիֆրակցիայի երևույթ կարելի է նկատել նաև առանց հատուկ սարքերի: Մեր թարթիչները՝ իրենց արանքներով, ներկայացնում են կոպիտ դիֆրակցիոն ցանց: Ուստի, եթե կկոցած աչքերով նայենք լույսի պայծառ աղբյուրին, ապա կարող ենք նկատել ծիածանի գույներ: Սպիտակ լույսը, թարթիչների վրա ենթարկվելով դիֆրակցիայի, վերածվում է սպեկտրի:

Ռենտգենյան ալիքների դիֆրակցիան: Դիֆրակցիայի երևույթը հատուկ է ոչ միայն լուսային, այլև ավելի կարճ ալիքի երկարություն ունեցող էլեկտրամագնիսական ալիքներին, որոնց թվին են պատկանում նաև ռենտգենյան ալիքները: Ռենտգենյան ալիքի երկարությունը 10^{-10} մ կարգի է, և թվում է թե նման դիֆրակտային ցանց անհնար է ստեղծել: Սակայն բնության մեջ կան նման բնական դիֆրակտային ցանցեր. դրանք

բյուրեղներն են, որոնց բյուրեղային ցանցի պարբերությունը (բյուրեղային ցանցի հաստատունը) ռենտգենյան ալիքի երկարության կարգի է:

Ռենտգենյան ալիքների համար դիֆրակցիայի պայմանը հայտնի է որպես Բրեգի պայման, իսկ φ_3 անկյունը՝ Բրեգի անկյուն:



Նկ. 168

Եթե ռենտգենյան ալիքների նեղ փունջն ուղղենք բյուրեղի վրա Բրեգի անկյան տակ, ապա նույն անկյան տակ կարող ենք գրանցել դիֆրակտային պատկեր: Դրա համար պետք է այդ անկյան տակ տեղադրել ֆոտոէմուլսային թիթեղ, կատարել փորձը և երևակել թիթեղը: Նկ. 168-ում բերված է ռենտգենյան ալիքների դիֆրակցիայի մի պատկեր՝ է էկրանին (ֆոտոթիթեղի վրա) առաջվում է կենտրոնական հիմնական շերտ և նրա աջ ու ձախ կողմերում տեղավորված շերտեր (սատելիտներ):

Ռենտգենյան ալիքների դիֆրակցիայի երևույթի վրա է հիմնված ժամանակակից ֆիզիկայի տեսական, փորձարարական և մեծ կիրառական նշանակություն ունեցող ուղղություններից մեկը՝ ռենտգենագրությունը: Ռենտգենյան ֆիզիկայի բնագավառում մեծ ներդրում ունեն հայ գիտնականները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է դիֆրակցիան:*
2. *Բերե՛ք մեխանիկական ալիքների դիֆրակցիայի օրինակներ:*
3. *Ինչպե՞ս է առաջանում լուսային ալիքների դիֆրակցիան:*
4. *Ի՞նչ է դիֆրակտային ցանցը:*
5. *Ո՞րն է դիֆրակցիայի պատճառը:*
6. *Ռենտգենյան ալիքների ի՞նչ դիֆրակտային ցանցեր գիտեք:*
7. *Ո՞ր անկյունն է կոչվում Բրեգի անկյուն:*
8. *Ինչու՞ ատոմային ալիքները կարող են հրճգել շինություններ, իսկ լուսային ալիքները, լինելով նույնպես էլեկտրամագնիսական, չեն կարող:*

§ 85. Լաբորատոր աշխատանք N9. Լուսային ալիքի երկարության որոշումը դիֆրակտային ցանցի օգնությամբ

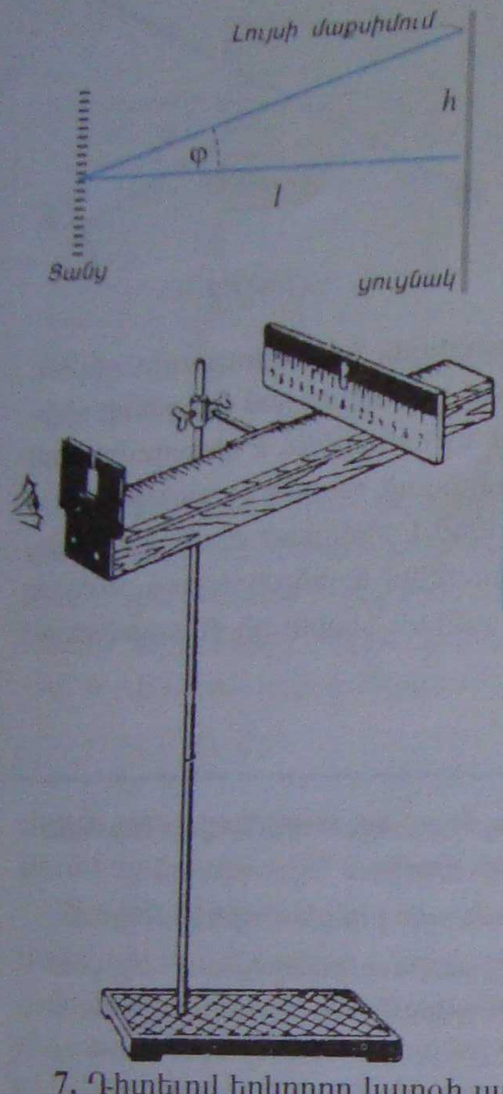
Աշխատանքի նպատակը. Որոշել լուսային ալիքի երկարությունը դիֆրակտային ցանցի օգնությամբ:

Չափամիջոցներ. 1. սարք լուսային ալիքի երկարությունը որոշելու համար:

Նյութեր և սարքեր. 1. դիֆրակտային ցանց (100 գիծ 1 մմ-ի վրա), 2. բարձրացվող սեղանիկի պատվանդան կամ ամրակալան, 3. ՓՕՀ-115 պրոյեկցիոն ապարատ կամ ատվերային պրոյեկցիոն լուսատար (ամբողջ դասարանի համար) և լուսազտիչներ:

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Ցուցադրական սեղանի վրա տեղադրել ՓՕՀ-115 ապարատը՝ կոնդենսորով դեպի դասարանը: Կոնդենսորին կից տեղադրել դիապոզիտիվների շրջանակը: Նրա մեջ տեղադրել 5 մմ լայնությամբ, 50÷60 մմ երկարությամբ ճեղք ունեցող և մոմաթղթով կամ ծխախոտի թղթով փակված ստվարաթղթի շրջանակը:



2. ՓՕՀ-115 ապարատից 4÷6 մ հեռավորության վրա տեղադրել ալիքի երկարությունը որոշող սարքը: Սարքի մեջ տեղադրել դիֆրակտային ցանցը և այն ուղղել դեպի լուսային ճեղքն այնպես, որ ցանցի միջով դիտելիս այն համընկնի սանդղակի 0 բաժանման (ճեղքի) հետ:

3. Դիտել առաջին կարգի դիֆրակտային սպեկտրը ($k = 1$), սանդղակով որոշել սպեկտրում որևէ գույնի ճառագայթների տեղը, ինչպես 0-ից աջ, այնպես էլ ձախ կողմերում և չափումների արդյունքները (h) տեղադրել աղյուսակում:

Փորձի համարը	k	h	l	λ

4. Չափել ցանցից մինչև սանդղակ l հեռավորությունը (մմ) և գրանցել աղյուսակում:

5. Որոշել φ անկյան տանգենսը՝ $tg\varphi = h / l$: Քանի որ φ անկյունն այս չափումների ժամանակ չի գերազանցում 4°-ը, ապա $sin\varphi \approx tg\varphi$:

6. Օգտվելով $l = d sin\varphi / k = dh/kl$ ($d = 10^{-5}$ մ 1մմ-ի վրա 100 գիծ ունեցող դիֆրակցիոն ցանցի համար) բանաձևից՝ որոշել կարմիր և մանուշակագույն ճառագայթների ալիքի երկարությունները և արդյունքները գրանցել աղյուսակում:

7. Դիտելով երկրորդ կարգի սպեկտրը ($k = 2$)՝ կատարել համանման չափումներ ու հաշվումներ, արդյունքները գրանցել աղյուսակում:

8. Մեծացնել կամ փոքրացնել ցանցից մինչև էկրան հեռավորությունը, կատարել համանման չափումներ ու հաշվումներ և արդյունքները գրանցել աղյուսակում:

9. Որոշել կարմիր և մանուշակագույն ճառագայթների ալիքի երկարության միջին արժեքը և ստացված արդյունքները համեմատել աղյուսակային արժեքների հետ:

§ 86. Լույսի բևեռացումը

Եթե բափահարենք մի ծայրն ամրացված պարանը, ապա պարանի երկայնքով կվազի լայնական ալիք: Ալիքը ***լայնական*** է, եթե նրա տատանումներն ուղղահայաց են ալիքի տարածման ուղղությանը: Նկ. 169,ա-ում ցույց է տրված երկու նման դեպք: Առաջին դեպքում ալիքի տատանումները կատարվում են ուղղաձիգ հարթության մեջ, այսինքն՝ պարանը տատանվում է վերև-ներքև և ներքև-վերև: Երկրորդ դեպքում ալիքի տատանումները կատարվում են հորիզոնական հարթության մեջ, այսինքն՝ պարանը տատանվում է աջ-ձախ և ձախ-աջ: Այսպիսի ալիքներն անվանում են ***բևեռացված***, իսկ տատանումների հարթությունը՝ ***բևեռացման հարթություն***: Առաջին ալիքի բևեռացման հարթությունն ուղղաձիգ հարթությունն է (ուղղաձիգ բևեռացում), իսկ երկրորդինը՝ հորիզոնական հարթությունը (հորիզոնական բևեռացում): Նկ. 169,բ-ում ուղղաձիգ

բևեռացված ալիքն անցնում է ուղղաձիգ ճեղքով, սակայն չի անցնում երկրորդ՝ հորիզոնական ճեղքով, քանի որ վերջինիս հարթությունն ուղղահայաց է ալիքի բևեռացման հարթությանը:

Նկ. 169

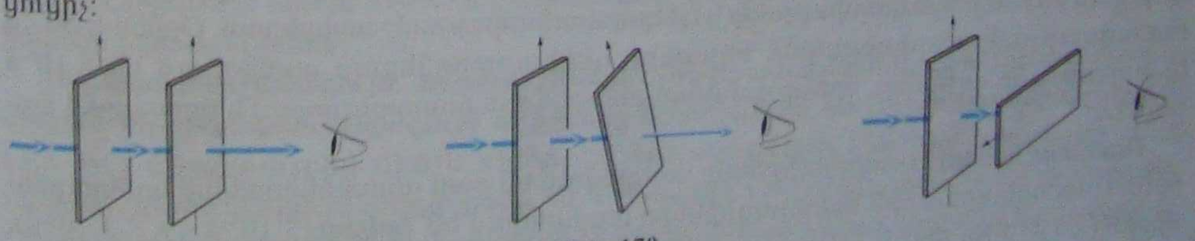
Լուսային ալիքը նույնպես կարող է լինել բևեռացված, ընդ որում, բևեռացման հարթությունը կարող է ունենալ ուղղաձիգ, հորիզոնական կամ որևէ միջանկյալ դիրք: Լույսի համար բևեռացման հարթություն ասելով հասկանում են էլեկտրական դաշտի լարվածության տատանումների հարթությունը*: Սովորական լույսի աղբյուրի (Արեգակի, լամպի) արձակած լույսը բևեռացված չէ, քանի որ այն բևեռացման բոլոր հնարավոր ուղղություններով ալիքների համախումբ է: Այսպիսի լույսը կոչվում է չբևեռացած կամ բնական:

Լույսի բևեռացման երևույթը հայտնաբերել է Հյույգենսը 1678 թ.:

Լույսի բևեռացումը կարելի է հայտնաբերել հատուկ թափանցիկ բյուրեղների կամ բաղանթների միջոցով, որոնք ունեն բևեռացման առանցքներ: Լույսը, անցնելով այդպիսի նյութերի միջով, բևեռանում է բևեռացման առանցքի ուղղությամբ, այլ կերպ ասած՝ միայն այդպիսի բևեռացած ալիքներն են անցնում բյուրեղի (թաղանթի) միջով, մյուսները կլանվում են: Եթե լույսի տարածման ճանապարհին տեղադրենք տուրմալինի բյուրեղից կտրված երկու ուղղանկյուն թիթեղներ, որոնց բևեռացման առանցքները միմյանց զուգահեռ են և ունեն, օրինակ, ուղղաձիգ ուղղություն, ապա լույսը, անցնելով առաջին բյուրեղով, կբևեռանա ուղղաձիգ բևեռացմամբ և անարգել կանցնի երկրորդ բյուրեղով (նկ. 170): Եթե սկսենք դանդաղորեն պտտել երկրորդ բյուրեղը, ապա լույսը կսկսի թուլանալ և, ի վերջո, կմարի, երբ երկրորդ բյուրեղի բևեռացման առանցքը լինի ուղղահայաց առաջին բյուրեղի բևեռացման առանցքին:

Լույսը կարելի է բևեռացնել նաև բարակ թաղանթների միջոցով, որոնց անվանում են ***բևեռացույցիչներ:*** Այդպիսի թաղանթ է ցելուլոիդի կամ ապակե թիթեղի վրա նստեցրած գերապատիտի բյուրեղի բարակ (0,1 մմ հաստությամբ) շերտը: Եթե լույսն անցկացնենք նման երկու թաղանթների միջով, ապա, կախված նրանց բևեռացման առանցքների հարաբերական դիրքից, կունենանք լույսի անցում, մարում կամ մասնակի թուլացում:

Բևեռացույցիչներն օգտագործում են հայելային անդրադարձած լույսի «շողքերի» մարման համար, օրինակ՝ նկարների և ապակե իրերի լուսանկարչության ժամանակ: Այդ նպատակով լուսանկարչական ապարատի օբյեկտիվի վրա հագցնում են բևեռացույցիչ:


Նկ. 170

* Պատմականորեն բևեռացման հարթություն է կոչվել լուսային ալիքի լարվածության $\vec{E}$ վեկտորի տատանումների հարթությանն ուղղահայաց հարթությունը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Երկայնակա՞ն, թե՞ լայնական է լուսային ալիքը:*
2. *Ինչո՞վ է տարբերվում բնական լույսը բևեռացածից:*
3. *Ի՞նչ է բևեռացույցիչը:*
4. *Բնական լույսն ընկնում է հաջորդաբար տեղադրված երկու բևեռացույցիչների վրա, որոնք կողմնորոշված են այնպես, որ լույսը նրանցով բոլորովին չի անցնում: Կանցնի՞ արդյոք լույսը, եթե նրանց միջև տեղադրվի երրորդ բևեռացույցիչը:*

§ 87. Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակ

Էլեկտրամագնիսական ալիքները սկզբունքորեն կարող են ունենալ կամայական երկարություն: Կան էլեկտրամագնիսական ալիքներ, որոնց երկարությունը հազարավոր կիլոմետրերի կարգի է, և կան էլեկտրամագնիսական ալիքներ, որոնց երկարությունը 10^{-12} մ կարգի է:

Լույսի էլեկտրամագնիսական բնույթի պարզաբանումը թույլ տվեց բոլոր տիպի էլեկտրամագնիսական ճառագայթումները դասակարգել և միավորել ***էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակում***: Էլեկտրամագնիսական ալիքները ընդունված է բաժանել ***ցածրհաճախային ճառագայթման, ռադիոալիքների, ինֆրակարմիր ճառագայթման, տեսանելի ճառագայթման (լույսի), ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման, ռենտգենյան ճառագայթման և գամմա-ճառագայթման:*** Ճառագայթումների սանդղակի տարբեր տիրույթների սահմանները շատ պայմանական են: Վակուումում կամայական ալիքի երկարություն ունեցող էլեկտրամագնիսական ճառագայթում տարածվում է 300000 կմ/վ արագությամբ:

Տարբեր ալիքի երկարությամբ ճառագայթումները միմյանցից տարբերվում են իրենց ստացման եղանակով (ռադիոճառագայթում, ջերմային ճառագայթում, ատոմի, միջուկի ճառագայթում և այլն) և գրանցման մեթոդով: Ճառագայթումները միմյանցից տարբերվում են նաև նյութի մեջ կլանվելու տեսակետից: Օրինակ՝ կարճալիք ճառագայթումները (ռենտգենյան և գամմա-ճառագայթում) թույլ են կլանվում միջավայրերում, ինֆրակարմիր ալիքները, ընկնելով մարդու մարմնի վրա, տաքացնում են այն, իսկ ուլտրամանուշակագույն ալիքները կարմրացնում են մաշկը:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների կլանման, անդրադարձման և այլ հատկությունները էապես կախված են ալիքի երկարությունից: Քննարկենք էլեկտրամագնիսական ալիքների հիմնական խմբերն այս տեսանկյունից:

Ցածրհաճախային ճառագայթում: Սրանք էլեկտրամագնիսական ալիքներ են, որոնք գրգռվում են մեծ ինդուկտիվությամբ և էլեկտրաունակությամբ սարքերում: Օրինակ՝ 50 Հց հաճախությամբ փոփոխական հոսանքի գեներատորներում ստեղծվում են $6 \cdot 10^6$ մ երկարությամբ ալիքներ, որոնք գործնականորեն չեն ճառագայթվում և արագորեն մարում են:

Ռադիոալիքներ: Ռադիոալիքները ստեղծվում են բաց տատանողական կոնտուրներում: Ըստ երկարության ռադիոալիքները բաժանվում են՝ ***երկար*** ($3 \cdot 10^3$ մ $< \lambda < 3 \cdot 10^4$ մ), ***միջին*** ($2 \cdot 10^2$ մ-ից մինչև $3 \cdot 10^3$ մ), ***կարճ*** (10 մ-ից մինչև $2 \cdot 10^2$ մ) և ***գերկարճ*** ռադիոալիքների ($\lambda < 10$ մ): Որքան ալիքը երկար է, այնքան նրա՝ Երկրի մակերևույթը շրջանցելու հատկությունն ուժեղ է արտահայտված: Այդ պատճառով մեծ հեռավորությունների վրա ռադիոկապը հնարավոր է միայն միջին և երկար ալիքների միջոցով: Դրա հետ մեկ-

տեղ, երկար ալիքները զգալիորեն կլանվում են Երկրի մակերևութային շերտերի և *իոնոլորտի* կողմից: Իոնոլորտը Երկրի մակերևույթից 100÷300 կմ բարձրության վրա գտնվող մթնոլորտի վերին մասերի իոնացված գազի շերտն է, որտեղ օդի իոնացում է տեղի ունենում Արեգակի ճառագայթման և տարբեր մասնիկների հոսքերի ազդեցությամբ:

Կարճ ալիքները մեծ հեռավորությունների վրա տարածվում են միայն իոնոլորտից և Երկրի մակերևույթից բազմապատիկ անդրադարձման շնորհիվ: Հենց կարճ ալիքների միջոցով կարելի է իրականացնել ռադիոկապը Երկրի՝ ցանկացած հեռավորությունների վրա գտնվող ռադիոկայանների միջև:

Գերկարճ ռադիոալիքները թափանցում են իոնոլորտի միջով առանց անդրադարձման: Այդ պատճառով նրանք օգտագործվում են ուղիղ գծով տեսանելիության սահմաններում գտնվող կետերի միջև ռադիոկապի, ինչպես նաև տիեզերանավերի հետ կապ պահպանելու համար:

Ինֆրակարմիր ճառագայթներ: Ցանկացած տաք մարմին առաքում է էլեկտրամագնիսական ալիքներ, այդ թվում՝ նաև ***ինֆրակարմիր ալիքներ:*** Ինֆրակարմիր ալիքներ են առաքում վառվող վառարանը, բնակարանի ջեռուցման մարտկոցները և այլն: Այդ ալիքները, կլանվելով, նկատելիորեն տաքացնում են շրջապատի մարմինները: Այդ պատճառով ինֆրակարմիր ալիքները հաճախ անվանում են ջերմային ալիքներ: Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակում ինֆրակարմիր ալիքները զբաղեցնում են գերկարճալիք ռադիոալիքների (10^{-3} մ) տիրույթից մինչև տեսանելի լույսի կարմիր գույնի ($7{,}6 \cdot 10^{-7}$ մ) տիրույթը: Ինֆրակարմիր ճառագայթման բնական աղբյուրներ են՝ Արեգակը, աստղերը և մոլորակները: Օրինակ՝ արեգակնային ճառագայթման էներգիայի մոտ 50%-ը Երկիր է հասնում ինֆրակարմիր ճառագայթման տեսքով:

Ինֆրակարմիր ալիքները մեծ կիրառություններ ունեն. դրանք օգտագործվում են լաքի և ներկի ծածկույթներ, մրգեր և բանջարեղեն չորացնելու համար: Հայտնի են ինֆրակարմիր ճառագայթային դիտակները, որոնք գիշերը տեսանելի են դարձնում շրջապատի առարկաները՝ նրանց առաքած ինֆրակարմիր ճառագայթումը վերածելով տեսանելի ճառագայթման:

Ինֆրակարմիր ճառագայթներն օգտագործվում են նաև թույլ մառախուղի ժամանակ լուսանկարելիս, երբ սովորական լուսանկարչական ապարատներով ստացվում են ոչ հստակ լուսանկարներ: Բանն այն է, որ ինֆրակարմիր ճառագայթները քիչ են ցրվում, ուստի հեռավոր առարկաների պատկերները ստացվում են ավելի հստակ:

Տեսանելի ճառագայթում (լույս): Լույսն էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակում զբաղեցնում է չափազանց նեղ տիրույթ: Նրա ալիքի երկարությունը փոփոխվում է $7{,}6 \cdot 10^{-7}$ մ-ից (կարմիր լույս) մինչև $3{,}8 \cdot 10^{-7}$ մ (մանուշակագույն լույս): Շիկացման լամպի էներգիայի միայն 3÷4%-ն է վերածվում լույսի, մնացածը վերածվում է ինֆրակարմիր ճառագայթման:

Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներ: Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակում ***ուլտրամանուշակագույն ալիքները*** զբաղեցնում են լույսի մանուշակագույն ($3{,}8 \cdot 10^{-7}$ մ) տիրույթից մինչև ռենտգենյան ալիքների (10^{-8} մ) տիրույթը: Այդ ճառագայթման բնական աղբյուրներ են՝ Արեգակը, աստղերը, միգամածությունները: Օրինակ՝ արեգակնային ճառագայթման էներգիայի մոտ 10%-ը կազմում է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթումը:

Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթումը կարելի է նկատել լյումինեսցենց առաջացնող նյութով պատած էկրանի միջոցով: Էկրանի այն մասը, որի վրա ընկնում է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթում, սկսում է լուսարձակել:

Ռենտգեն Վիլհելմ (1845-1923)

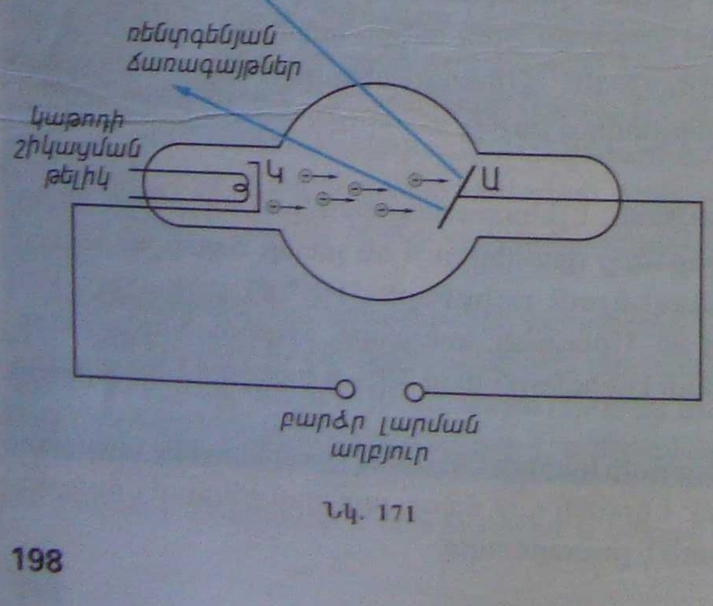
Գերմանացի նշանավոր ֆիզիկոս, 1895թ. հայտնագործել է ռենտգենյան ճառագայթները, ինչը հսկայական նշանակություն ունեցավ ֆիզիկայի և, հատկապես, բժշկության զարգացման համար և, մասնավորապես, հանգեցրեց ռադիոակտիվության հայտնագործմանը: Ֆիզիկայի գծով առաջին Նոբելյան մրցանակը շնորհվել է Ռենտգենին:

Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները, ինչպես և ինֆրակարմիր ճառագայթները, աչքի համար անտեսանելի են: Այդ ճառագայթները համեմատաբար քիչ են կլանվում մթնոլորտի վերին շերտերում, այդ պատճառով լեռներում դրանց զգալի ուժգնությունը վտանգավոր է մաշկի և աչքերի համար: Երկար ժամանակ բարձր վայրերում, օրինակ՝ Սևանա լճի ափին, առանց հագուստի մնալու դեպքում մարդու մաշկը վնասվում է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների ազդեցությունից: Սակայն փոքր քանակով ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները բուժիչ ներգործություն են ունենում մարդու օրգանիզմի վրա: Չափավոր կերպով արևի տակ մնալն օգտակար է, հատկապես՝ փոքր հասակում. ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները օժանդակում են օրգանիզմի աճին և ամրացմանը:

Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներն օգտագործում են նաև բժշկության մեջ՝ մաշկային հիվանդություններ ոչնչացնելու համար, քրեագիտության մեջ և կերպարվեստի ստեղծագործությունների իսկությունը ստուգելու համար:

Ռենտգենյան ճառագայթներ: Ռենտգենյան ճառագայթները հայտնագործել է գերմանացի ֆիզիկոս Վ.Ռենտգենը 1895 թ., երբ ուսումնասիրում էր գազապարպիչ խողովակում կաթոդի արձակած ճառագայթումը, որն այն ժամանակ հայտնի էր կաթոդային ճառագայթներ անվամբ: Ռենտգենը նկատեց, որ խողովակի մոտ լուսանկարչական թիթեղը ճառագայթահարվում է, ընդ որում, ճառագայթահարվում է նույնիսկ այն դեպքում, երբ այն փաթաթված է սև թղթով: Երբ նա ձեռքը դնում էր խողովակի և թիթեղի միջև, թիթեղը երևակելուց հետո նրա վրա նկատում էր իր ձեռքի ոսկորների մութ ստվերը:

Այս փորձերի արդյունքում Ռենտգենը եկավ այն եզրակացության, որ խողովակը պարպման ընթացքում ինչ-որ ճառագայթում է արձակում, որն ուժեղ թափանցելու հատկություն ունի: Այդ անհայտ ճառագայթները նա անվանեց ***X-ճառագայթներ:*** Հետագայում դրանք ստացան ***«ռենտգենյան ճառագայթներ»*** անվանումը:



Նկ. 171

Ռենտգենը նկատեց, որ նոր ճառագայթումը հայտնվում է այնտեղ, որտեղ կաթոդային ճառագայթները (որոնք իրենցից ներկայացնում են արագընթաց էլեկտրոններ) բախվում են խողովակի ապակե պատին: Հետագա փորձերը ցույց տվեցին,

որ X-ճառագայթները ծագում են արագընթաց էլեկտրոնները կանկացած խոչընդոտով, մասնավորապես՝ մետաղե էլեկտրոդներով արգելակելիս:

Նկ. 171-ում պատկերված է ռենտգենյան խողովակ, որտեղ էլեկտրոնները, պոկվելով շիկացած Կ կաթոդից, հարվածում են Ա անոդին, որից էլ արձակվում են ռենտգենյան ճառագայթները:

Ռենտգենյան ճառագայթները ներգործում են լուսանկարչական թիթեղի վրա, որևէ նյութից նկատելիորեն չեն անդրադառնում, առաջ են բերում օդի իոնացում:

Ռենտգենյան ճառագայթների ալիքի երկարությունը շատ փոքր է ($10^{-8} \div 10^{-12}$ մ), ընդ որում, այն այնքան փոքր է, որքան մեծ է արգելքին բախվող էլեկտրոնների էներգիան: Ռենտգենյան ճառագայթման մեծ թափանցելիությունը պայմանավորված է նրա փոքր ալիքի երկարությամբ:

Ռենտգենյան ճառագայթները մեծ կիրառություն ունեն բժշկության մեջ: Նրանք կիրառվում են հիվանդությունները ճիշտ ախտորոշելու, ոսկորների կոտրվածքները նկարելու, ինչպես նաև քաղցկեղային հիվանդությունները բուժելու համար: Ռենտգենյան ճառագայթները տարբեր չափով են կլանվում հյուսվածքների և ոսկորների կողմից, որի հետևանքով լուսանկարչական թիթեղի վրա ստացվում են մուր և լուսավոր տեղեր (նկ. 172):

Ռենտգենյան ճառագայթները լայնորեն կիրառվում են տարբեր նյութերի քիմիական բարդ մոլեկուլների և միացությունների բաղադրության և կառուցվածքի հետազոտություններում: Մասնավորապես, մարդու ԴՆԹ-ի կառուցվածքը («կրկնակի պարույր») հայտնաբերվել է հիմնականում ռենտգենյան ճառագայթների միջոցով:

Ռենտգենյան ճառագայթների կիրառության մեկ այլ բնագավառ է ռենտգենյան աստղագիտությունը: Պարզվում է, որ Տիեզերքում կան աստղեր, որոնք տեսանելի լույսի փոխարեն արձակում են ռենտգենյան ալիքներ: Այժմ 500-ից ավելի նման աստղեր են հայտնաբերվել:

Նկ. 172

Ավելի փոքր ալիքի երկարություն ունի գամմա-ճառագայթումը: Այդ ճառագայթմանը դուք կծանոթանաք գլուխ 12-ում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ ռադիոալիքներ գիտեք:*
2. *Ի՞նչ ռադիոալիքներ են օգտագործվում արհեստական արբանյակի հետ ուղիղ կապ հաստատելու համար:*
3. *Ինչու՞ պատուհանի ապակու միջով անցած Արեգակի լույսն արևայրուկ չի առաջացնում:*
4. *Ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման ի՞նչ աղբյուրներ գիտեք:*
5. *Ի՞նչ ալիքի երկարություն ունեն ռենտգենյան ճառագայթները:*
6. *Ինֆրակարմիր ճառագայթման ի՞նչ աղբյուրներ գիտեք:*
7. *Ի՞նչ բնույթ ունի ռենտգենյան ճառագայթումը:*
8. *Ի՞նչ կիրառություններ ունի ռենտգենյան ճառագայթումը:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Տարածության ինչ-որ կետում վերադրվում են երկու՝ $3{,}8\cdot10^{-7}$ մ երկարությամբ լույսի կոհերենտ ալիքներ: Ի՞նչ կդիտվի այդ կետում. լույսի ուժեղացո՞ւմ, լույսի կոհերենտ ալիքներ: Ի՞նչ կդիտվի այդ կետում. լույսի ուժեղացո՞ւմ, թե՞ թուլացում, եթե միևչև վերադրման կետը ալիքների ընթացքի տարբերությունը $1{,}235\cdot10^{-5}$ մ է:***

Լուծում: Տարածության այդ կետում առուգենք լույսի ուժեղացման և թուլացման պայմանները: Այդ նպատակով ընթացքի Δd տարբերությունը բաժանենք ալիքի λ երկարության վրա՝

$$\frac{\Delta d}{\lambda}=\frac{1{,}235\cdot10^{-5}}{3{,}8\cdot10^{-7}}=32{,}5 \quad \text{կամ} \quad \Delta d=65\frac{\lambda}{2}:$$

Այսպիսով՝ ընթացքի Δd տարբերության վրա տեղավորվում է կենտ թվով կես ալիք, ուրեմն տարածության այդ կետում ալիքները միմյանց թուլացնում են:

2. ***Գտնել լույսի ալիքի երկարությունը, եթե հայտնի է, որ դիֆրակտային առաջին շերտի հեռավորությունը կենտրոնական շերտից՝ $h=0{,}12$ մ, իսկ դիֆրակտային պատկերի հեռավորությունը դիֆրակտային ցանցից՝ $l=2$ մ: Դիֆրակտային ցանցը 1 մմ-ի վրա ունի 100 նրբագիծ:***

Լուծում: Լույսի ալիքի երկարությունը կորոշենք դիֆրակտային մաքսիմումի պայմանից՝

$$d\sin\varphi = k\lambda,$$

որտեղ k-ն դիֆրակտային պատկերի համապատասխան շերտի համարն է, φ-ն՝ այն անկյունը, որի տակ երևում է այդ շերտը, d-ն՝ դիֆրակտային ցանցի պարբերությունը ($d=1$ մմ/100 $=10^{-5}$ մ): h-ը դիֆրակտային պատկերի առաջին շերտի հեռավորությունն է կենտրոնական շերտից, ուստի $k=1$: Հաշվենք φ անկյունը: Քանի որ h-ը շատ փոքր է l հեռավորությունից, ապա φ անկյունը փոքր է, հետևաբար՝ $\sin\varphi \approx tg\varphi = h/l$:

Տեղադրելով ստացված մեծությունները $d\sin\varphi = k\lambda$ բանաձևի մեջ, կստանանք՝

$$\lambda=\frac{d}{k}\sin\varphi\approx d\frac{h}{l}=6\cdot10^{-7}\text{ մ}:$$

3. ***1 մմ-ի վրա 500 նրբագիծ ունեցող դիֆրակտային ցանցի վրա, նրա նորմալի ուղղությամբ ընկնում է հարթ մեներանգ լուսային ալիք ($l=5\cdot10^{-7}$ մ): Որոշել սպեկտրի ամենամեծ k կարգը, որը կարելի է դիտել:***

Լուծում: Ամենամեծ k-ին, ըստ $d\sin\varphi = k\lambda$ բանաձևի, համապատասխանում է $\sin\varphi = 1$ արժեքը, հետևաբար՝

$$k=\frac{d}{\lambda}=\frac{10^{-3}\text{ մ}}{500\cdot5\cdot10^{-7}\text{ մ}}=4:$$

Խնդիրներ

1. *Էլեկտրամագնիսական ալիքի հաճախությունը վակուումում $3 \cdot 10^8$ Հց է: Քանի՞ ալիքի երկարություն կտեղավորվի 3 մ-ի վրա:*
2. *Լույսի ալիքի երկարությունը որոշելու համար օգտագործվել է դիֆրակտային ցանց, որի 1 մմ-ի վրա կա 100 նրբագիծ: Ցանցից 2 մ հեռավորության վրա գտնվող էկրանի վրա առաջին դիֆրակտային պատկերը ստացվում է կենտրոնականից 15,2 սմ հեռավորության վրա: Որոշել լուսային ալիքի երկարությունը:*
3. *Գտնել կանաչ լույսի ($5{,}5 \cdot 10^{-7}$ մ) համար սպեկտրի առավելագույն կարգը, եթե դիֆրակտային ցանցի պարբերությունը $3{,}3 \cdot 10^{-6}$ մ է:*
4. *Երկու կոհերենտ ալիքներ, որոնց ընթացքի տարբերությունը հավասար է $2 \cdot 10^{-6}$ մ-ի, վերադրվում են էկրանի վրա՝ տալով հինգերորդ կարգի մաքսիմում: Ի՞նչ ընթացքի տարբերություն պետք է ունենան նույն ալիքները, որպեսզի նրանց վերադրման արդյունքում էկրանին ստացվի նույն կարգի մինիմում:*
5. *Երկու կոհերենտ ալիքների ընթացքի տարբերությունը $2{,}1 \cdot 10^{-6}$ մ է: Վերադրվելով էկրանի ինչ-որ կետում՝ այդ ալիքները տալիս են երրորդ կարգի մինիմում: Որոշել ալիքի երկարությունը:*
6. *Տարածության ինչ-որ կետում վերադրվում են $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ մ ընթացքի տարբերություն ունեցող երկու կոհերենտ ճառագայթներ, որոնց ալիքի երկարությունը $6 \cdot 10^{-7}$ մ է: Ի՞նչ տեղի կունենա վերադրման կետում, եթե՝*
   ա) լույսը տարածվում է օդում,
   բ) լույսը տարածվում է ջրում,
   գ) լույսը տարածվում է 1,5 բեկման ցուցիչ ունեցող ապակում:
7. *Տատանումների ի՞նչ հաճախությունների են համապատասխանում արեգակնային լույսի կարմիր ($\lambda = 7{,}6 \cdot 10^{-7}$ մ) և մանուշակագույն ($\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ մ) ճառագայթները:*
8. *Ֆիզիկայի դպրոցական լաբորատորիաներում կան դիֆրակտային ցանցեր, որոնք 1մմ-ի վրա ունեն 50 և 100 նրբագիծ: Ցանցերից ո՞րն էկրանին կտա ավելի լայն սպեկտր՝ այլ հավասար պայմանների դեպքում:*
9. *$5 \cdot 10^{-7}$ մ ալիքի երկարությամբ լույսի փունջն ընկնում է դիֆրակտային ցանցի վրա՝ նրա նորմալի ուղղությամբ: Որոշել ցանցի պարբերությունը, եթե երկրորդ կարգի մաքսիմումը դիտվում է սկզբնական ուղղության նկատմամբ 30° անկյան տակ:*
10. *Ջուրը լուսավորվում է դեղին լույսով: Ի՞նչ գույնի լույս է տեսնում ջրի տակ գտնվող մարդը:*
11. *Փոփոխվու՞մ է արդյոք լուսային ճառագայթման ալիքի երկարությունը և հաճախությունը, երբ ճառագայթը վակուումից անցնում է մեկ այլ միջավայր: Արդյոք այդ դեպքում փոխվու՞մ է մեներանգ լույսի գույնը:*
12. *Նկ. 155-ում պատկերված են լույսի O_1 և O_2 կոհերենտ աղբյուրները, որոնց ճառագայթած լույսի ալիքի երկարությունը $5{,}9 \cdot 10^{-7}$ մ է: Ինչպիսի՞ն կլինի ինտերֆերենցային պատկերը M կետում, եթե $O_1M = 1$ մ, իսկ $O_2M = 1{,}59$ մ:*
13. *Դիֆրակտային ցանցը 1 մմ-ի վրա ունի 120 նրբագիծ: Գտնել ցանցի վրա ընկնող լույսի ալիքի երկարությունը, եթե դեպի առաջին կարգի երկու մաքսիմումները գնացող ճառագայթների կազմած անկյունը հավասար է 8°-ի:*
14. *Պրիզմայի միջով նայում են մեծ ալիտակ պատին: Այդ պատը գունավորված կլինի՞ արդյոք սպեկտրի գույներով: Պատասխանը հիմնավորել:*
15. *Ջրի մակերևույթից անդրադարձած լույսը մասնակի բևեռացած է: Ինչպե՞ս կարելի է դրանում համոզվել, եթե ունենք բևեռացույց:*

ԳԼՈՒԽ 8-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Միջավայրի բեկման ցուցիչը կախված է լույսի գույնից: Բեկման ցուցչի կախումը լույսի հաճախությունից կոչվում է դիսպերսիա: Դիսպերսիայի դրսեորում է պրիզմայի միջոցով սպիտակ լույսի տարրալուծումը սպեկտրի:

2. Այն լուսային ալիքները, որոնք ունեն նույն երկարությունն ու հաստատուն ընթացքի տարբերությունը, կոչվում են կոհերենտ: Երբ կոհերենտ ալիքները վերադրվում են, դիտվում է լույսի ինտերֆերենց: Ալիքներն ուժեղացնում են կամ թուլացնում միմյանց՝ կախված նրանց ընթացքի տարբերությունից:

3. Լուսային ալիքները շրջանցում են իրենց երկարության հետ համեմատելի չափեր ունեցող արգելքները. այս երևույթը կոչվում է դիֆրակցիա: Դիֆրակտային ցանցի միջոցով ստացվող սպեկտրի դիֆրակտային մաքսիմումների ուղղությունները որոշվում են $d\sin\varphi = k\lambda$ բանաձևից, որտեղ d-ն ցանցի պարբերությունն է:

4. Լուսային ալիքները լայնական են: Այն լուսային ալիքը, որի տատանումները տեղի են ունենում որոշակի հարթության մեջ, կոչվում է բևեռացած ալիք: Բնական լույսը բևեռացած չէ:

5. Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակն ընդգրկում է կածրհաճախային ալիքներից մինչև գամմա-ճառագայթները: Տարբեր երկարություններով էլեկտրամագնիսական ալիքները պայմանականորեն բաժանում են խմբերի՝ ըստ ստացման և գրանցման եղանակի և նյութի հետ փոխազդեցության բնույթի:

6. Այն ճառագայթումը, որի ալիքի երկարությունը գերազանցում է կարմիր ալիքի երկարությունը ($7{,}6\cdot10^{-7}$ մ), անվանում են ինֆրակարմիր ճառագայթում: Ցանկացած տաքացած մարմին ինֆրակարմիր ճառագայթում է արձակում: $3{,}8\cdot10^{-7}$ մ-ից փոքր ալիքի երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներն անվանում են ուլտրամանուշակագույն:

7. Ռենտգենյան ալիքների երկարություններն ատոմների չափերի կարգի են: Ռենտգենյան ճառագայթում առաջանում է, օրինակ, արագացված էլեկտրոնների կտրուկ արգելակման ժամանակ: Այն նյութում թույլ է կլանվում:

9 ՀԱՐԱԲԵՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՏՈՒԿ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՏԱՐՐԵՐԸ

§ 88. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթները

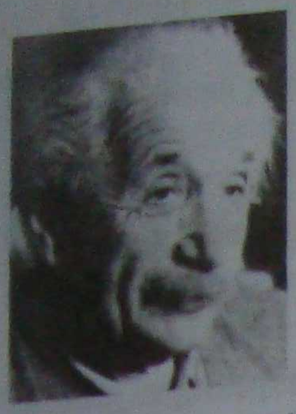
Դասական կամ Նյուտոնյան մեխանիկայի հիմքում ընկած է *Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքը*, որի համաձայն *բոլոր իներցիալ համակարգերում մեխանիկական երևույթները միևնույն ձևով են ընթանում*: Համաձայն դասական պատկերացումների՝ ժամանակը բոլոր իներցիալ համակարգերում ընթանում է նույն ձևով, իսկ տարածության կանկացած երկու կետերի հեռավորությունը բոլոր համակարգերում միևնույնն է, անկախ համակարգերի՝ իրար նկատմամբ ունեցած շարժման արագությունից:

Անշարժ կոորդինատական համակարգում $\vec{v}$ արագությամբ շարժվող մարմնի արագությունը մի այլ իներցիալ համակարգում նրա շարժման $\vec{v}'$ արագության հետ կապված է *արագությունների գումարման դասական օրենքով*՝ $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$ առնչությամբ, որտեղ $\vec{u}$-ն շարժվող համակարգի արագությունն է անշարժ համակարգի նկատմամբ: Եթե արագությունների գումարման դասական օրենքը կիրառենք լույսի արագության նկատմամբ, ապա լույսի աղբյուրի նկատմամբ $\vec{u}$ արագությամբ շարժվող համակարգում լույսի արագության համար կստանանք՝ $\vec{c}' = \vec{c} - \vec{u}$:

Եթե, իրոք, լույսի (էլեկտրամագնիսական ալիքի) արագությունը տարբեր համակարգերում լիներ տարբեր, ապա էլեկտրադինամիկայի և օպտիկայի օրենքները տարբեր իներցիալ համակարգերում անփոփոխ (ինվարիանտ) տեսք չէին ունենա: Նման պնդման պատճառն այն է, որ էլեկտրադինամիկայի հիմքում ընկած Մաքսվելի հավասարումներում առկա է էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման արագությունը: Եթե այդ արագությունը տարբեր իներցիալ համակարգերում ընդունի տարբեր արժեքներ, ապա Մաքսվելի հավասարումները մի իներցիալ համակարգից մյուսին անցնելիս կփոխվեն:

Եթե այս վերջին պնդումը ճշմարիտ է, ապա հարց է ծագում. ո՞ր համակարգում է լույսի արագությունը հավասար c-ի: Այլ կերպ ասած՝ ո՞ր համակարգում են Մաքսվելի հավասարումները ճիշտ: Հարցին պատասխանելու համար ենթադրություն արվեց, որ լույսն ունի $c = 3 \cdot 10^8$ մ/վ արագություն Տիեզերքի կենտրոնի հետ կապված մի անշարժ «լուսային միջավայրում», որն անվանվեց «եթեր»: Որպես այս ենթադրության հետևանք, «եթերի» նկատմամբ շարժվող համակարգում լույսի արագությունը պետք է տարբերվեր c արժեքից: Այս հետևությունը ստուգելու համար 1887 թ. Մայքելսոնը և Մորլին կատարեցին իրենց հայտնի փորձը՝ պարզելու համար Երկրի շարժման ազդեցությունը լույսի արագության վրա: Եթե լույսի արագությունը Երկրի հետ կապված համակարգում (որն Արեգակի նկատմամբ շարժվում է մոտավորապես 30 կմ/վ արագությամբ) ունենար այլ՝ c-ից տարբեր արժեք, ապա դրանով կապացուցվեր «եթերի» գոյությունը: Հաղթահարելով մի շարք տեխնիկական դժվարություններ, երկարատև փորձերը կրկնելով գարնանը և աշնանը, օրվա տարբեր ժամերին՝ Մայքելսոնը և Մորլին ապացուցե-

Այնշտայն Ալբերտ (1879 - 1955)



Հրեա մեծ ֆիզիկոս: Ստեղծել է հարաբերականության հատուկ տեսությունը: Այդ տեսությունն ընդհանրացնելով ոչ իներցիալ համակարգերի համար՝ կառուցել է հարաբերականության ընդհանուր տեսությունը, որը տիեզերական ձգողության ժամանակակից տեսությունն է: Առաջարկել է լույսի մասնիկի՝ ֆոտոնի գաղափարը: Կառուցել է բրոունյան շարժման տեսությունը, որը նպաստել է նյութի կառուցվածքի մոլեկուլային-կինետիկ տեսության վերջնական հաղթանակին:

կին, որ լույսի արագությունը կախված չէ Երկրի շարժման ուղղությունից: (XIX դարի ամենանշանավոր և գիտական հեղափոխական նշանակություն ունեցող այս փորձի համար Ա.Մայքելսոնը 1907 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:) Այս փաստը նույնքան անհավանական է, որքան այն, որ արագ շարժվող մեքենայի լուսամուտից գլուխը դուրս հանելիս քամու ազդեցությունը չենք զգա: Այս փաստի անհավանական թվալու պատճառն այն էր, որ ֆիզիկոսները երկար ժամանակ չէին կարողանում ձերբազատվել ժամանակի և տարածության մասին դասական պատկերացումներից:

Առաջինը Ա.Այնշտայնն էր, որ հրաժարվեց դասական պատկերացումներից և ***ժամանակն ու տարածությունը համարեց միասնական տարածաժամանակային հաշվարկման համակարգի առանձին կոորդինատներ***: Այնշտայնը ստեղծեց հարաբերականության հատուկ տեսությունը, որի հիմքում դրեց երկու կանխադրույթ: (Կանխադրույթը ֆիզիկայում չապացուցվող պնդում է, ինչպես մաթեմատիկայում՝ աքսիոմը:)

Առաջին կանխադրույթը ***Այնշտայնի հարաբերականության սկզբունքն է***, որի համաձայն ***միևնույն պայմաններում բոլոր ֆիզիկական երևույթները հաշվարկման կանկացած իներցիալ համակարգում միևնույն ձևով են ընթանում:***

Այս կանխադրույթից հետևում է, որ.

1. Իներցիալ համակարգում կատարված ոչ մի փորձով (մեխանիկական, էլեկտրամագնիսական, օպտիկական) հնարավոր չէ պարզել՝ համակարգը դադարի վիճակու՞մ է, թե՞ շարժվում է:

2. Մի իներցիալ համակարգից մյուսին անցնելիս ֆիզիկայի օրենքների մաթեմատիկական ձևակերպումները չպետք է փոխվեն:

Ուրեմն՝ էլեկտրադինամիկայի օրենքներն էլ իրավացի են բոլոր հաշվարկման համակարգերում, ուստի հասկանալի է դառնում բոլոր փորձերի բացասական արդյունքը՝ հայտնաբերել Երկրի շարժման ազդեցություն էլեկտրամագնիսական կամ օպտիկական երևույթների վրա:

Ըստ Այնշտայնի երկրորդ կանխադրույթի՝ ***վակուումում լույսի արագությունը կախված չէ լույսի աղբյուրի արագությունից:***

Այս կանխադրույթը հավասարապես վերաբերում է բոլոր էլեկտրամագնիսական ալիքներին:

Քանի որ լույսի արագությունը (անկախ այն բանից, աճշա՞րժ, թե՞ շարժվող համակարգից ենք հետևում նրան) հավասար է լույսի անցած հեռավորության և համապատասխան ժամանակամիջոցի հարաբերությանը, ապա պետք է վերանայվեն մեր պատկերացումները հեռավորության և ժամանակի մասին:

Այսպիսով՝ լույսի արագությունն առանձնահատուկ դեր է խաղում ֆիզիկայում: Դեռ ավելին, ինչպես բխում է Այնշտայնի կանխադրույթներից, լույսի արագությունը վա-

կուումում բնության մեջ տեղի ունեցող բոլոր փոխազդեցությունների տարածման հնարավոր ամենամեծ արագությունն է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ պնդումներ են ընկած հարաբերականության հատուկ տեսության հիմքում:*
2. *Հարաբերականության հատուկ տեսության առաջին կանխադրույթն ինչո՞վ է տարբերվում Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքից:*

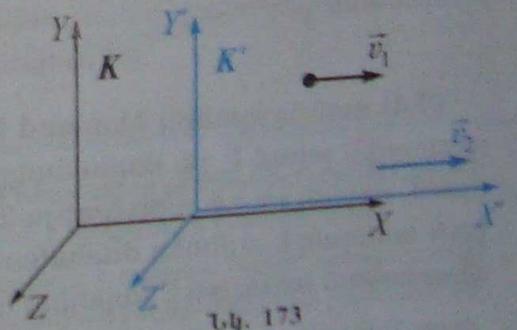
§ 89. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթներից բխող հետևանքներ

Արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքը: Այնշտայնի երկրորդ կանխադրույթը լույսի արագության մասին ակնհայտորեն հակասում է դասական մեխանիկայի արագությունների գումարման օրենքին: Սակայն և՛ լույսի արագության հաստատուն լինելու պնդումը, և՛ արագությունների գումարման դասական օրենքը փորձի արդյունք են, ուստի այստեղ հակասություն լինել չի կարող: Եվ, իսկապես, երկու պնդումներն էլ ճիշտ են, որովհետև դրանք ***արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքի*** մասնավոր դեպքեր են: (Ռելյատիվիստական են կոչվում այն օրենքները, որոնք ճիշտ են կամկացած, այդ թվում՝ նաև լույսի արագությանը մոտ արագությունների դեպքում:)

Ասվածի մեջ համոզվելու համար արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքը գրենք այն մասնավոր դեպքում, երբ մարմինը շարժվում է K' հաշվարկման համակարգի X' առանցքի երկայնքով v_1 արագությամբ, իսկ K' համակարգն էլ իր հերթին, v_2 արագությամբ շարժվում է K անշարժ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ X առանցքի ուղղությամբ (նկ. 173): Շարժման ընթացքում X և X' կոորդինատային առանցքները համընկնում են, իսկ Y և Y', Z և Z' կոորդինատային առանցքները մնում են միմյանց զուգահեռ:

Մարմնի v արագությունը K անշարժ համակարգում որոշվում է ***արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքով***

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}; \qquad (9.1)$$



Նկ. 173

Եթե $v_1 \ll c$ և $v_2 \ll c$, ապա բանաձևի հայտարարում $v_1 v_2 / c^2$ անդամը կարելի է անտեսել մեկի նկատմամբ, և օրենքը կստանա հետևյալ տեսքը՝

$$v = v_1 + v_2. \qquad (9.2)$$

որը արագությունների գումարման դասական օրենքն է: Առօրյա կյանքում մենք առնչվում ենք (9.2) դասական օրենքին, քանի որ Երկրի վրա մակրոսկոպական մարմինների հնարավոր առավելագույն արագությունները 7 ÷ 11 կմ/վ կարգի են և շատ փոքր են լույսի արագությունից: Այդպիսի (այսինքն՝ $v \ll c$) արագությունների դեպքում դասական

մեխանիկան ճշգրտորեն նկարագրում է մարմինների մեխանիկական շարժումը: Ուստի մարմնի արագության վրա դրվող $v << c$ *պայմանը* ռելյատիվիստական մեխանիկայի սահմանային դեպքի՝ ***դասական մեխանիկայի կիրառելիության չափանիշն*** է:

Ըստ (9.1) բանաձևի՝ եթե $v_1 = c$, ապա v արագությունը նույնպես հավասար է c-ի՝

$$v = \frac{c + v_2}{1 + \frac{v_2}{c}} = c : \qquad (9.3)$$

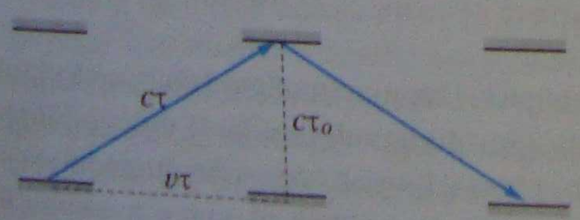
Արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքից բխող մյուս հետևությունն այն է, որ կանկացած $v_1 \le c$ և $v_2 \le c$ արագությունների դեպքում արդյունարար արագությունը չի գերազանցում c-ն՝ $v \le c$:

Այսպիսով, ըստ արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքի՝ լույսի արագությունը կախված չէ լույսի աղբյուրի արագությունից և ***բնության մեջ հնարավոր առավելագույն արագությունն է***:

Ժամանակամիջոցների հարաբերականությունը: Հիմք ընդունելով Այնշտայնի հարաբերականության երկրորդ կանխադրույթը՝ պարզենք, թե ինչպես են կապված լույսի՝ երկու կետերի հեռավորությունն անցնելու ժամանակամիջոցներն անշարժ և շարժվող համակարգերում: Ենթադրենք՝ աղբյուրից լույսի կարճատև ազդանշանը տարածվում է ուղածիգ վեր՝ դեպի տեղադրված հայելին և անդրադառնում է նրանից՝ գրանցվելով աղբյուրի մոտ գտնվող սարքում: Միաժամանակ «աղբյուր-հայելի-գրանցող սարք» համակարգը v արագությամբ հորիզոնական ուղղությամբ շարժվում է դեպի աջ (նկ.174): Շարժվող համակարգում գտնվող դիտորդը կգրանցի լույսի ազդանշանի ուղածիգ դեպի վեր և վար շարժման $2\tau_0 = 2l_0/c$ ժամանակամիջոցը: Իսկ Երկրի հետ կապված K անշարժ համակարգում գտնվող դիտորդը կդիտի լույսի ազդանշանի՝ հորիզոնի նկատմամբ անկյան տակ մեկ այլ շարժում, որի ժամանակամիջոցը նշանակենք 2τ-ով: Ինչպես տեսնում ենք, $c\tau$ և $c\tau_0$, հետևաբար՝ τ և τ_0 ժամանակամիջոցները միմյանցից տարբերվում են, որը նշանակում է, որ ***ժամանակամիջոցները հարաբերական են***: τ-ի և τ_0-ի կապը գտնենք՝ օգտվելով Պյութագորասի թեորեմից՝ $(c\tau)^2 = (c\tau_0)^2 + (v\tau)^2$, որտեղից՝

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} : \qquad (9.4)$$

(9.4) առնչությունից հետևում է, որ $\tau > \tau_0$, ուստի անշարժ համակարգում գտնվող դիտորդին թվում է, թե ժամանակը շարժվող համակարգում դանդաղ է ընթանում: Ընդորում, որքան լույսի արագությանը մոտ արագությամբ է շարժվում համակարգը, այնքան դանդաղ է այնտեղ ժամանակի ընթացքը: Սա ***ժամանակի դանդաղման ռելյատիվիստական երևույթն*** է շարժվող հաշվարկման համակարգերում:



Նկ. 174

Եթե $v << c$, ապա, (9.4) բանաձևում v^2/c^2 մեծությունն անտեսելով մեկի նկատմամբ, կստանանք՝ $\tau = \tau_0$, այսինքն՝ ժամանակի դանդաղումը $v << c$ դեպքում կարելի է հաշվի չառնել: Դա է պատճառը, որ առօրյա կյանքում մենք չենք նկատում ժամանակի դանդաղման ռելյատիվիստական երևույթը:

Ժամանակի դանդաղման երևույթի ակնառու ապացույց է հետևյալ փորձնական փաստը: Հայտնի է, որ Երկրից մոտ 10 կմ բարձրության վրա, տիեզերական ճառագայթների ազդեցությամբ ծնվում են տարրական մասնիկներ՝ μ-մեզոններ*, որոնք, հասնելով Երկրի մակերևույթին, գրանցվում են համապատասխան սարքերով: μ-մեզոնի կիսքը հավասար է էլեկտրոնի կիսքին, իսկ զանգվածը 207 անգամ մեծ է էլեկտրոնի զանգվածից: Հայտնի է, որ μ-մեզոնի կյանքի տևողությունը՝ $\tau_0 = 1{,}5\cdot10^{-6}$ վ, այսինքն՝ այդքան ժամանակ անց այն վերածվում է այլ տարրական մասնիկների: Եթե ճիշտ չլիներ ժամանակի դանդաղման երևույթը, ապա μ-մեզոնը, շարժվելով $\upsilon = 299640$ կմ/վ արագությամբ, կանցներ ընդամենը $l_0 = \upsilon\tau_0 \approx 0{,}45$ կմ ճանապարհ և կտրոհվեր, այսինքն՝ չէր հասնի Երկրի մակերևույթին, ինչը չի համապատասխանում իրականությանը: Իսկ եթե օգտվենք (9.4) բանաձևից, ապա μ-մեզոնի անցած ճանապարհի համար կստանանք՝ $l = \upsilon\tau = 9$ կմ: Սա շարժվող համակարգերում ժամանակի դանդաղման ճշմարտացիության լավագույն ապացույցն է:

Ժամանակի դանդաղման երևույթի հետևություն է նաև հանրահայտ ***երկվորյակների պարադոքսը:*** Ըստ այդ պարադոքսի, եթե Երկրի վրա ծնված երկվորյակներից մեկն անմիջապես լույսի արագությանը շատ մոտ, օրինակ՝ $\upsilon = 299985$ կմ/վ արագությամբ շարժվող հրթիռով մեկնի տիեզերական ճամփորդության, ապա 1 տարի անց նա, վերադառնալով, իր եղբորը կգտնի... 100 տարեկան հասակում: Իսկապես.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-(299985/300000)^2}} = \frac{1\,\text{տարի}}{0{,}01} = 100\,\text{տարի}:$$

Հեռավորությունների հարաբերականությունը: ***Հարաբերական է նաև հեռավորությունը.*** այն կախված է տվյալ հաշվարկման համակարգի նկատմամբ մարմնի շարժման արագությունից:

l_0-ով նշանակենք ձողի երկարությունը K հաշվարկման համակարգում, որի նկատմամբ ձողը հանգստի վիճակում է: Այդ դեպքում նույն ձողի երկարությունը K' հաշվարկման համակարգում, որի նկատմամբ ձողը շարժվում է իր երկայնքով ուղղված υ արագությամբ, որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} \qquad (9.5)$$

Ինչպես երևում է այս բանաձևից, $l < l_0$: Այլ կերպ ասած՝ շարժվող համակարգերում մարմնի չափերը շարժման ուղղությամբ կրճատվում են:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Շարժման ի՞նչ արագությունների դեպքում է արագությունների գումարման ռելյատիվիստական օրենքից ստացվում արագությունների գումարման դասական օրենքը:*
2. *Ո՞րն է լույսի արագության և այլ մարմինների շարժման արագությունների սկզբունքային տարբերությունը:*
3. *Ի՞նչ հնարավոր ամենամեծ արագությամբ կարող է հաղորդվել ազդանշանը:*
4. *Կախվա՞ծ է արդյոք լույսի արագությունը վակուումում լույսի աղբյուրի շարժման արագությունից, իսկ լույսի ընդունիչի արագությունի՞ց:*

* Տարրական մասնիկների մասին տե՛ս գլ.13:

§ 90. Շեղակի կարտեզ արագությունը: Մեկատիվիստական զեխաշիռ

Եսան Լյշշուսյի հարաբերականության հատուկ տեսության չի ևս- րող ելնելով փոխուսյուց կարագությունից սեռ արագություն: Մակայն Դյատոմ Նիվրող օրենքի՝ $ma = F$ արհեստը, հավասար է այս պեղեցը: Բնականաբար, հա- տատուն ուժ պահպանելով, հավասարաչափ շարժում ելարող նախնական արա- գություն ունեցող մարմինը, ինչ-որ պահից՝ կձեռնաթափվի իր նախ- գործ: Լյատեղից հետևում է, որ սեռ արագությունների դեպքում չի կարող հավասարաչափ, այսինքն՝ ամեն վայրկյանում նույն քանակով փոխվել արագությունը: Ինչ-որ ձևով պետք է ընդունել, որ արագությունների դեպքում գործում է այլ օրենք, որը արա- գությունը ձգտեցնում է լույսի c արագությանը:

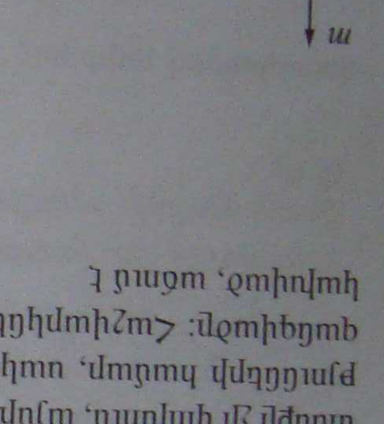
Մա ընդհանուր է, որ սեռ արագությունների դեպքում Դյատոմ նորմալ օրենք պետք է ձևափոխվի, բայց այնպես, որ փոքր արագությունների դեպքում այն հանդի- մի օրենքի՝ վերը ընդհանրված: Լյս պետքն պայմանները կատարած է այն հաճախականի, որ ինչքան ավելի մեծ օրենքը բազմապատկած է փոքրով:

Նորից ուշադրություն դարձնենք Դյատոմ նորմալ օրենքի նման- պետքի վրա: Ինչպես տեսանք, այդ օրենքը ենթադրում է, որ ուժի ազդեցության տակ մեծացող արագությունը կարող է անսահմանորեն մեծանալ: Ա՞յդպես է բնությունում: Ինչպես ցույց են տալիս, արագացուցիչ օրենքը ճիշտ է միայն այն դեպքում, երբ արագությունը շատ փոքր է լույսի արագությունից: Երբ արագությունը մոտենում է լույսի արագությանը, օրենքը դառնում է ավելի բարդ: Ինչպես ցույց են տալիս փորձերը, մարմնի իներցիան աճում է արագության մեծացման հետ: Ինչքան մեծ է մարմնի արագությունը, այնքան ավելի դժվար է այն փոխել: Ինչքան մոտ է արագությունը լույսի արագությանը, այնքան մեծ է իներցիան: Երբ արագությունը հավասարվում է լույսի արագությանը, իներցիան դառնում է անսահման մեծ, և ոչ մի ուժ չի կարող մարմնի արագությունը փոխել:

Ինչպես տեսանք, Նյուտոնի մեխանիկայում իմպուլսը սահմանվում է $\vec{p} = m\vec{v}$ հավասարությամբ: Նյուտոնի երկրորդ օրենքը գրվում է հետևյալ տեսքով.

$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}: \tag{9.6}$$

Պարզվում է, որ շարժման մեջ արագությունների դեպքում այս հավասարումը իր տեսքը չի փոխում, այնքանով, որ Դյատոմի մեջ զրաստեն է բոլոր արագու- թյունները հավասար, սահման ալ տեսք ունի հետևյալ արտահայտությամբ մեջ ստացող զանգվածը: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ մարմնի զանգվածը, արագությունից կախված, աճում է



Նկ. 175

10^{-9}-ով: Պարզ է, որ զանգվածն էապես կարող է փոփոխվել միայն լույսի արագությանը մոտ արագությունների դեպքում: Նման արագություններ կարող են ունենալ տարրական մասնիկները: Օրինակ՝ էլեկտրոնային հզոր արագացուցիչներում էլեկտրոնների արագությունները լույսի արագությանից փոքր են ընդամենը 35÷40 մ/վ-ով, այդ պատճառով նրանց զանգվածը մեծանում է մոտ 2000 անգամ: Զանգվածի նման փոփոխություն արագացուցիչներում հեշտությամբ է գրանցվում: Սա փաստորեն հարաբերականության հատուկ տեսության ճշմարտացիության ևս մեկ ապացույց է:

Օգտվելով զանգվածի (9.7) արտահայտությունից՝ մարմնի իմպուլսի համար կարող ենք գրել՝

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}: \qquad (9.8)$$

Լույսի արագությանը մոտ արագություններով մարմինների շարժումներն ուսումնասիրվում են ռելյատիվիստական մեխանիկայում: Ռելյատիվիստական մեխանիկայի երկրորդ օրենքը կարելի է գրել (9.6) տեսքով, որտեղ իմպուլսը տրվում է (9.8) առնչությամբ:

Այս օրենքն արդեն չի հակասում հարաբերականության հատուկ տեսության երկրորդ կանխադրույթին, որովհետև երբ մարմնի արագությունը մոտենում է լույսի արագությանը, նրա զանգվածն անընդհատ մեծանում է, որի հետևանքով արագացումը ձգտում է զրոյի, և արագությունը գործնականորեն դադարում է աճել:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք շարժման արագությունից մարմնի զանգվածի կախումն արտահայտող բանաձևը:*
2. *Ի՞նչ է մարմնի հանգստի զանգվածը:*
3. *Մարմնի ի՞նչ արագությունների դեպքում կարելի է անտեսել նրա զանգվածի կախումն արագությունից:*
4. *Կարո՞ղ է արդյոք էլեկտրոնի արագությունը հավասարվել վակուումում լույսի արագությանը: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
5. *Կարո՞ղ է արդյոք էլեկտրոնի արագությունը հավասարվել միջավայրում լույսի արագությանը: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
6. *Կարո՞ղ է արդյոք էլեկտրոնի արագությունը մեծ լինել միջավայրում լույսի արագությունից: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*

§ 91. Զանգվածի և էներգիայի կապը

Դասական ֆիզիկայում մարմնի զանգվածը և էներգիան փոխադարձաբար կապված չեն, այսինքն՝ երբ մարմինն էներգիա է կլանում, ապա նրա զանգվածը փոփոխության չի ենթարկվում: Այլ հետևության է հանգում Այնշտայնի հարաբերականության հատուկ տեսությունը:

Էներգիայի և զանգվածի կապը բխում է էներգիայի պահպանման օրենքից և այն փաստից, որ մարմնի զանգվածը կախված է նրա շարժման արագությունից:

Եթե մարմինն էներգիա է կլանում, ապա, ըստ էներգիայի պահպանման օրենքի, այն պետք է վերածվի մարմնի ներքին էներգիայի, այսինքն՝ մարմնի ատոմները պետք է ավելի մեծ արագությամբ շարժվեն, քան մինչև էներգիայի կլանումը: Մյուս կողմից,

քանի որ ատոմի զանգվածը կախված է նրա շարժման արագությունից, ապա արագության մեծացման հետ կմեծանա նաև ատոմի զանգվածը: Այսպիսով, կլանված էներգիան բերում է մարմնի ընդհանուր զանգվածի փոփոխության:

Զանգվածի և էներգիայի կապը: Այնշտայնի բանաձևը: Զանգվածի և էներգիայի կապը տրվում է Այնշտայնի հայտնի բանաձևով, որը ֆիզիկայի հիմնարար օրենքներից մեկն է: Այն կապ է ստեղծում երկու բվայյալ անկախ ֆիզիկական մեծությունների՝ մարմնի էներգիայի և նրա զանգվածի միջև: Ըստ այդ օրենքի՝ m զանգվածով մարմինն օժտված է

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (9.9)$$

էներգիայով: Եթե այս բանաձևում տեղադրենք $v = 0$, այսինքն՝ դիտարկենք հանգստի վիճակում գտնվող մարմինն, ապա նրա էներգիան, որը կոչվում է ***հանգստի էներգիա***, հավասար կլինի՝

$$E_0 = m_0 c^2 : \qquad (9.10)$$

Եթե մարմինը շարժվում է, ապա այն օժտված է կինետիկ էներգիայով: Հարաբերականության հատուկ տեսության մեջ մարմնի կինետիկ էներգիան սահմանվում է որպես շարժվող մարմնի mc^2 էներգիայի և նրա m_0c^2 հանգստի էներգիայի տարբերություն՝

$$E_կ = mc^2 - m_0 c^2 : \qquad (9.11)$$

Կինետիկ էներգիայի ոչ ռելյատիվիստական $mv^2/2$ արտահայտությունը ստացվում է (9.11) բանաձևից $v << c$ սահմանային դեպքում:

Հարց է առաջանում. հնարավո՞ր է արդյոք չափել մարմնի զանգվածի մեծացումը էներգիա կլանելիս: Իսկապես, տաք թեյամանն ավելի մեծ զանգված ունի, քան սառը թեյամանը, սակայն այդ տարբերությունը, որը որոշվում է (9.11) բանաձևից, c^2-ու շատ մեծ լինելու պատճառով այնքան փոքր է, որ հնարավոր չէ ոչ մի զգայուն կշեռքով չափել: Միայն ատոմների միջուկների և տարրական մասնիկների փոխակերպումների ժամանակ է հնարավոր նկատել այդ փոփոխությունը: Ջրածնային ռումբի պայթյունի ժամանակ անջատվում է վիթխարի էներգիա՝ մոտ 10^{17} Ջ: Այդ էներգիան գերազանցում է ամբողջ Երկրի վրա մի քանի օր շարունակ արտադրվող էլեկտրաէներգիան: Այս դեպքում զանգվածի փոփոխությունը հնարավոր է լինում նկատել (այդ մասին կխոսվի 12-րդ գլխում):

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք մարմնի զանգվածի և նրա լրիվ էներգիայի փոխադարձ կապն արտահայտող բանաձևը:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով կարելի է հաշվել մարմնի զանգվածի փոփոխությունը, եթե հայտնի է նրա լրիվ էներգիայի փոփոխությունը:*
3. *Ո՞ր էներգիան են անվանում հանգստի էներգիա, և ի՞նչ բանաձևով է այն որոշվում:*
4. *Փոփոխվո՞ւմ է արդյոք մարմնի զանգվածը տաքացնելիս: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*

5. *Համաձայն Այնշտայնի հարաբերականության հատուկ տեսության՝ մարմնի էներգիան մեծացնելիս նրա զանգվածը մեծանում է: Ինչու՞ առօրյա կյանքում մարմնի ջերմաստիճանը բարձրացնելիս զանգվածի փոփոխություն չի նկատվում:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ինչքա՞ն ժամանակ է անցնել Երկրի վրա, եթե նրա նկատմամբ 0,95c արագությամբ շարժվող հրթիռում անցել է 8 տարի:*

Լուծում: Երկիր վրա անցած ժամանակը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

որտեղ τ_0-ն հրթիռում գրանցված ժամանակն է, այսինքն՝ 8 տարին, իսկ v-ն հրթիռի արագությունն է: Այսպիսով, τ ժամանակի համար կգտնենք՝

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\left(\frac{0,95c}{c}\right)^2}} = 26,5 \text{ տարի}:$$

2. *Արագացույչում պրոտոնները ձեռք են բերում $7\cdot10^{10}$ էՎ կինետիկ էներգիա: Ի՞նչ արագությամբ են շարժվում պրոտոնները, և քանի՞ անգամ է մեծանում նրանց զանգվածը:*

Լուծում: Համաձայն կինետիկ էներգիայի (9.11) սահմանման՝

$$E_կ = mc^2 - m_0c^2,$$

որի երկու մասերն էլ բաժանելով m_0c^2-ու վրա, կստանանք՝

$$\frac{m}{m_0} = 1 + \frac{E_կ}{m_0c^2} = 75,5:$$

Մյուս կողմից, ըստ (9.7) բանաձևի՝

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \text{ որտեղից՝ } v = c\sqrt{1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2}:$$

Ստացված բանաձևում տեղադրելով $m/m_0 \approx 75,5$ արժեքը՝ կստանանք՝

$$v \approx 2,98\cdot10^8 \text{ մ/վ}:$$

Խնդիրներ

1. *Շարժվող գնացքում գտնվող դիտորդի տեսակետից կայծակի հարվածները գետնին A կետում (գնացքի առջևում) և B կետում (գնացքի ետևում) տեղի են ունեցել միաժամանակ: Գետնին կանգնած դիտորդի տեսակետից ո՞ր կայծակն է ավելի շուտ խփել գետնին:*
2. *Երկրի նկատմամբ ի՞նչ արագությամբ պետք է շարժվի տիեզերանավը, որպեսզի նրանում ժամանակի ընթացքը երկու անգամ ավելի դանդաղ լինի, քան Երկրի վրա գտնվող անշարժ դիտորդի համար:*
3. *Որոշել $1{,}8\cdot10^8$ մ/վ արագությամբ շարժվող էլեկտրոնի իմպուլսը:*
4. *Անշարժ դիտորդի նկատմամբ մարմինը շարժվում է v արագությամբ: Ինչպե՞ս են այդ դիտորդի համար փոխվում մարմնի՝ ա) երկայնական (շարժման ուղղությամբ) չափերը, բ) զանգվածը, գ) նյութի խտությունը:*
5. *Ի՞նչ արագությամբ պետք է շարժվի մարմինը, որպեսզի անշարժ դիտորդի համար մարմնի երկայնական չափերը փոքրանան 1%-ով:*
6. *Էլեկտրոնը շարժվում է $2{,}4\cdot10^8$ մ/վ արագությամբ: Որոշել՝ ա) էլեկտրոնի հանգստի էներգիան, բ) էլեկտրոնի զանգվածը, գ) էլեկտրոնի լրիվ էներգիան, դ) էլեկտրոնի կինետիկ էներգիան:*

ԳԼՈՒԽ 9-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Այնշտայնի հարաբերականության հատուկ տեսությունը հիմնված է երկու կանխադրույթի վրա: Հարաբերականության սկզբունքն այդ տեսության առաջին կանխադրույթն է, ըստ որի բնության բոլոր պրոցեսներն իներցիալ համակարգերում ընթանում են միևնույն ձևով: Ըստ երկրորդ կանխադրույթի, լույսի արագությունը վակուումում կախված չէ լույսի աղբյուրի արագությունից:
2. Հարաբերականության հատուկ տեսությունից բխում է, որ լույսի արագությունը վակուումում բնության մեջ փոխազդեցությունների տարածման ամենամեծ արագությունն է:
3. Մարմնի արագությունը մեծացնելիս նրա m զանգվածն աճում է

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$$

բանաձևի համաձայն, որտեղ m_0-ն մարմնի հանգստի զանգվածն է:
4. Հարաբերականության հատուկ տեսությունից բխում է մարմնի զանգվածի և էներգիայի կապը (Այնշտայնի բանաձև)՝ $E=mc^2$:
5. Լույսի արագությունից շատ փոքր արագությունների դեպքում ճիշտ են տարածության ու ժամանակի մասին դասական պատկերացումները և նյուտոնյան մեխանիկայի օրենքները:

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ

Ներածություն

XIX դարի վերջին դասական ֆիզիկան հաջողությամբ բացատրել էր բնության գրեթե բոլոր հայտնի երևույթները:

Նյուտոնյան մեխանիկան փայլուն ձևով բացատրեց մարմինների շարժումն ինչպես Երկրի վրա, այնպես էլ Արեգակնային համակարգում:

Մոլեկուլային-կինետիկ տեսությունը հաջողությամբ բացատրեց գազերի, հեղուկների և պինդ մարմինների հատկությունները:

Մաքսվելի էլեկտրամագնիսականության տեսությունը ոչ միայն միասնական տեսանկյունից բացատրեց էլեկտրական և մագնիսական երևույթները, այլև կանխատեսեց էլեկտրամագնիսական ալիքների գոյությունը:

Թվում էր, թե սակավաթիվ չլուծված խնդիրները, որոնցից էին՝ էլեկտրամագնիսականության տեսության և Գալիլեյի հարաբերականության սկզբունքի միջև հակասությունը, պինդ մարմինների ջերմային ճառագայթման և տարբեր սպեկտրների բացատրությունը, լույսի արձակումն ու կլանումը, ֆոտոէֆեկտը, շատ շուտով կստանան իրենց լուծումները հայտնի տեսությունների շրջանակներում:

Սակայն դասական ֆիզիկայի համար այս խնդիրները մնացին անլուծելի: Դրանց լուծման ճանապարհին առաջ քաշվեցին և զարգացան նոր գաղափարներ և հասկացություններ, որոնք դրվեցին նոր՝ ժամանակակից ֆիզիկայի հիմքում:

Հարաբերականության հատուկ տեսությունը ցույց տվեց, որ նյուտոնյան մեխանիկայի օրենքները կիրառելի չեն վակուումում լույսի արագությանը մոտ արագություններով շարժումների դեպքում, և հիմնովին փոխեց մեր պատկերացումները տարածության և ժամանակի մասին:

Ջերմային ճառագայթման գրեթե 30-ամյա ուսումնասիրությունը XX դարի սկզբին հանգեցրեց ֆիզիկայում նոր՝ ընդհատության (դիսկրետության) և քվանտի գաղափարին: Ֆոտոէֆեկտի ուսումնասիրությունը և դրա բացատրությունը Ա.Այնշտայնի կողմից ուղի հարթեցին ֆիզիկայում քվանտային գաղափարների լայն կիրառման համար: Ստեղծվեց քվանտային ֆիզիկան, որը XX դարում քաղաքակրթության մեծագույն նվաճումներից մեկն է:

10 ԼՈՒՍԱՅԻՆ ՔՎԱՆՏՆԵՐ

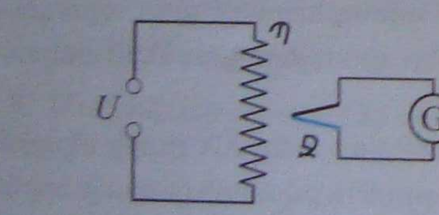
§ 92. Քվանտային տեսության ծագումը

Ջերմային ճառագայթում: Ջերմային ճառագայթումն ուսումնասիրենք հետևյալ պարզ փորձի օգնությամբ (նկ.176):

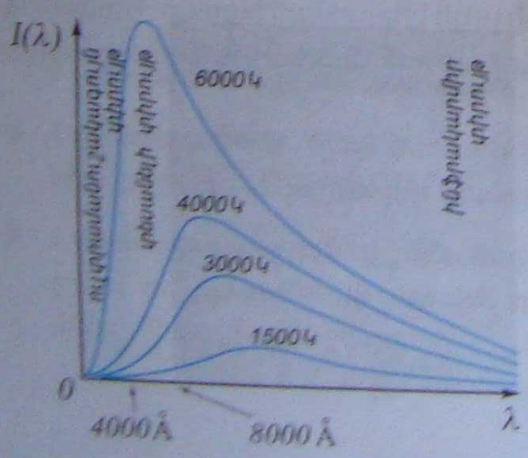
Եթե **Պ** պարույրը միացնենք ոչ մեծ լարման աղբյուրին, ապա ոչ մի փոփոխություն չենք նկատի: Սակայն եթե զգայուն **G** գալվանոմետրին միացված **Ջ** ջերմազույգը մոտեցնենք պարույրին, ապա գալվանոմետրի սլաքը կշեղվի՝ ցույց տալով որոշակի հոսանք: Դա նշանակում է, որ պարույրը ճառագայթում է, և ջերմազույգը, կլանելով պարույրի առաքած էներգիան, այն վերածում է հոսանքի էներգիայի: ***Տաքացված մարմնի արձակած ճառագայթումը կոչվում է ջերմային:***

Պարույրի՝ համեմատաբար ցածր ջերմաստիճաններում առաքած ջերմային ճառագայթման ալիքի երկարություններն ընկած են ինֆրակարմիր տիրույթում: Ինֆրակարմիր ճառագայթման աղբյուր են տաք արդուկը, ջեռուցիչը:

Պարույրի ծայրերին կիրառված լարումը մեծացնելիս պարույրի ջերմաստիճանը բարձրանում է, և դրա հետ մեկտեղ մեծանում է ջերմային ճառագայթման ուժգնությունը: Մոտ 1000 Կ ջերմաստիճանում պարույրը սկսում է կարմիր լույս արձակել: Ջերմաստիճանի հետագա բարձրացման հետ (~ 2000 Կ) արձակվող լույսի գույնն աստիճանաբար փոխվում է՝ ի վերջո դառնալով սպիտակ: Այլ կերպ ասած՝ շիկացած պարույրն արձակում է լույսի ողջ սպեկտրը: Պարզվում է, որ ավելի բարձր ջերմաստիճաններում պարույրի ճառագայթման մեջ զգալիորեն աճում է ուլտրամանուշակագույն էլեկտրամագնիսական ալիքների ներդրումը: Ջերմային ճառագայթման սպեկտրի կորն ունի սրածայր բլրի կամ ուղտի սապատի տեսք (նկ.177):



Նկ. 176



Նկ. 177

Ճառագայթման ուժգնության առավելագույն արժեքին համապատասխանող ալիքի երկարությունը ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց ինֆրակարմիր տիրույթից տեղափոխվում է դեպի ուլտրամանուշակագույն տիրույթ, իսկ ճառագայթման լրիվ ուժգնությունը, որը $I(\lambda)$ կորով սահմանափակված մակերեսն է, էապես մեծանում է:

Պլանկի վարկածը: Ջերմային ճառագայթման երևույթը դասական ֆիզիկայում մնայ անբացատ-

Պլանկ Մաքս (1858–1947)

Գերմանացի մեծ տեսաբան-ֆիզիկոս: Նա հիմնադրեց քվանտային տեսությունը՝ միկրոսկոպական մասնիկների շարժման, փոխազդեցության և փոխադարձ փոխակերպումների ժամանակակից տեսություն: 1900թ. ջերմային ճառագայթման սխիրված աշխատության մեջ Պլանկը ներմուծեց տատանվող էլեկտրամագնիսական էներգիա է ճառագայթում ատոմների բաժիններով: Պլանկը մեծ ներդրում է կատարել նաև ջերմոդինամիկայի զարգացման մեջ:

րելի: Ըստ դասական պատկերացումների՝ պարույրի ատոմները ջերմային տատանումների հետևանքով պետք է անընդհատ ճառագայթեն: Ճառագայթման գումարնաց ատոմներն անընդհատ պետք է կորցնեն տատանման էներգիան՝ մինչև կանգ առնելը, այսինքն՝ հոսանքի աղբյուրից անջատված պարույրի ջերմատուիճանը պետք է, ի վերջո, հավասարվի բացարձակ զրո ջերմաստիճանի, մի բան, որն իրականում երբեք տեղի չի ունենում: Իսկապես, փորձը ցույց է տալիս, որ տաքացած մարմինն իր ամբողջ էներգիան չի ծախսում էլեկտրամագնիսական ալիքներ ճառագայթելու վրա:

Դասական ֆիզիկայից բխող այս հակասությունը չլուծանելու համար Պլանկը ենթադրեց, որ *ատոմներն էլեկտրամագնիսական էներգիան ճառագայթում են ոչ թե անընդհատ, այլ ընդհատ՝ էներգիան առաքելով որոշակի քանակներով՝ քվանտներով* (լատիներեն «քվանտում»՝ քանակ, բաժին բառից): Այս ենթադրությունը հայտնի է որպես Պլանկի վարկած:

Պլանկը նաև ենթադրեց, որ քվանտի էներգիան ուղիղ համեմատական է ճառագայթման ν հաճախությանը՝

$$E = h\nu \; ; \qquad (10.1)$$

h համեմատականության գործակիցն անվանում են *Պլանկի հաստատուն*: Պլանկի հաստատունն ունիվերսալ հաստատուններից է: Ջերմային ճառագայթման և ֆոտոէֆեկտի հետ կապված մի շարք փորձերից Պլանկի հաստատունի համար առացվել է հետևյալ արժեքը՝

$$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ \text{Ջ} \cdot \text{վ} \; .$$

Ըստ ժամանակակից մեկնաբանման՝ Պլանկի վարկածը հաստատում է, որ ատոմի կամ մոլեկուլի տատանումների էներգիան կարող է ընդունել $h\nu$, $2h\nu$, ..., $nh\nu$ արժեքներ, սակայն չեն կարող գոյություն ունենալ տատանումներ «ոչ ամբողջ թիվ» անգամ $h\nu$ էներգիայով: Սա նշանակում է, որ էներգիան անընդհատ չէ, ինչպես ընդունված է դասական ֆիզիկայում: Այն քվանտացում է, այսինքն՝ կարող է գոյություն ունենալ միայն խիստ որոշակի, ընդհատ բաժիններով: Էներգիայի այդ բաժինն անվանում ենք էներգիայի քվանտ:

Քվանտային վարկածի հիման վրա Պլանկը հաջողությամբ բացատրեց ջերմային ճառագայթման օրինաչափությունները: Սակայն, մինչև Այնշտայնի կողմից ֆոտոէֆեկտի բացատրությունը, այս վարկածը ֆիզիկոսների կողմից բերահավատորեն էր ընդունվում: Իրականում Պլանկի վարկածը ֆիզիկայի զարգացման համար ունեցավ կա-

Ջրյոդինգեր Էրվին (1887–1961)

Ավստրիայի ֆիզիկոս-տեսաբան, քվանտային մեխանիկայի ստեղծողներից: Վիենայի, Ցյուրիխի, Բեռլինի, Ստուտգարտի և Էդինբուրգի համալսարանների պրոֆեսոր: Ջրյոդինգերի հավասարումը կարևոր դեր է խաղում ոչ միայն ատոմային պրոցեսների, այլև միջուկային ռեակցիաների տեսության մեջ: Նրան շնորհվել է Նոբելյան մրցանակ (1933):

բնորոշ նշանակություն: Ծագեց և զարգացավ ֆիզիկայի մի նոր ոլորտ՝ միկրոաշխարհի ֆիզիկան կամ ***քվանտային ֆիզիկան***, որը վերջնականորեն ձևավորվեց 1925–26 թվականներին նշանավոր ֆիզիկոսներ Է.Ջրյոդինգերի, Վ.Հայզենբերգի, Պ.Դիրակի և այլոց կողմից:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ճառագայթումն է կոչվում ջերմային:*
2. *Ո՞րն է Պլանկի վարկածը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար Պլանկի հաստատունը:*
4. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում ճառագայթման էներգիայի քվանտի էներգիան:*
5. *Ո՞ր գույնի լույսի քվանտի էներգիան է ամենամեծը՝ կապո՞ւյտ, կանա՞չ, դեղի՞ն, կարմի՞ր, մանուշակագո՞յն, նարնջագո՞յն, թե՞ երկնագույն: Պատասխանը հիմնավորեք:*

§ 93. Ֆոտոն

1905 թ. Այնշտայնը գարգացրեց Պլանկի վարկածը: Նա ենթադրեց, որ քվանտներն իրականում գոյություն ունեցող մասնիկներ են, որոնք ոչ միայն ճառագայթվում, այլև տարածվում և կլանվում են՝ պահպանելով իրենց անհատականությունը: Կլանվել կարող է միայն $h\nu$ քվանտն ամբողջությամբ: Այս ենթադրությունը նրան թույլ տվեց բացատրել ֆոտոէֆեկտի երևույթը: Լույսի քվանտն ավելի ուշ անվանվեց ***ֆոտոն*** (հունարեն «ֆոտոս»՝ լույս բառից, «ոն» վերջածանցը նշանակում է «մասնիկ»):

Ֆոտոնը լույսի մասնիկ է, որը կարող է կլանվել և ճառագայթվել ատոմի կողմից: Այն էներգիա-իմպուլսային պաշտի հատկությունները կրող տարրական մասնիկ է:

Առաքման, տարածման և կլանման երևույթներում լույսը դրսևորում է մասնիկային հատկություններ: Ֆոտոնի էներգիան որոշվում է $E = h\nu$ բանաձևով: Ըստ էներգիայի և զանգվածի կապն արտահայտող Այնշտայնի $E = mc^2$ բանաձևի, ֆոտոնի զանգվածը՝

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}, \qquad (10.2)$$

որտեղ c-ն էներգիա-իմպուլսային պաշտի արագությունն է վակուումում:

Ֆոտոնը շարժվում է c արագությամբ: Նրա հանգստի զանգվածը 0 է, ինչը նշանակում է, որ ֆոտոնն անշարժ վիճակում չի կարող գտնվել: Քանի որ ֆոտոնն ունի զանգված և շարժվում է արագությամբ, ապա օժտված է նաև իմպուլսով՝

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}, \qquad (10.3)$$

որտեղ λ-ն լույսի պաշտի երկարությունն է:

Ֆոտոնի իմպուլսն ունի նրա տարածման ուղղությունը:

Ֆոտոնի էներգիան և իմպուլսը շատ փոքր մեծություններ են, քանի որ Պլանկի հաստատունը չափազանց փոքր է: Օրինակ՝ կարմիր լույսի համար $\lambda = 0{,}7$ մկմ, ուստի դրան համապատասխանող ֆոտոններն ունեն $E = 3 \cdot 10^{-19}$ Ջ էներգիա և $p = 10^{-27}$ կգ·մ/վ իմպուլս: Իմպուլսի այս փոքրությունն է պատճառը, որ մենք առօրյա կյանքում չենք զգում լույսի ճնշումը:

Խորհրդային ֆիզիկոս Ս.Վավիլովն ուսումնասիրել է աչքի բնկալունակության հարցերը: Փորձերից մեկում նա լամպի և դիտորդի միջև տեղավորեց պտտվող սկավառակ՝ ճեղքով: Սկավառակը պտտվում էր՝ կատարելով վայրկյանում 1 պտույտ: Երբ լամպը պայծառ լուսարձակում էր, ճեղքով միշտ լույս էր անցնում: Լամպի պայծառությունը բուլացնելով՝ Վավիլովը նկատեց, որ սկավառակի ոչ բոլոր պտույտների դեպքում է նկատվում լույս: Եթե ֆոտոնների բիվը 1 վ-ում փոքր է 52-ից, ապա աչքն այդ լուսավորությունը չի բնկալում: Այսպիսով՝ աչքը կարող է բնկալել կանաչ գույնի ոչ պակաս, քան 52 ֆոտոն: Այս փորձով մեկ անգամ ևս ապացուցվեց լույսի քվանտային բնույթը:

Հարցեր և առաջադրանքներ

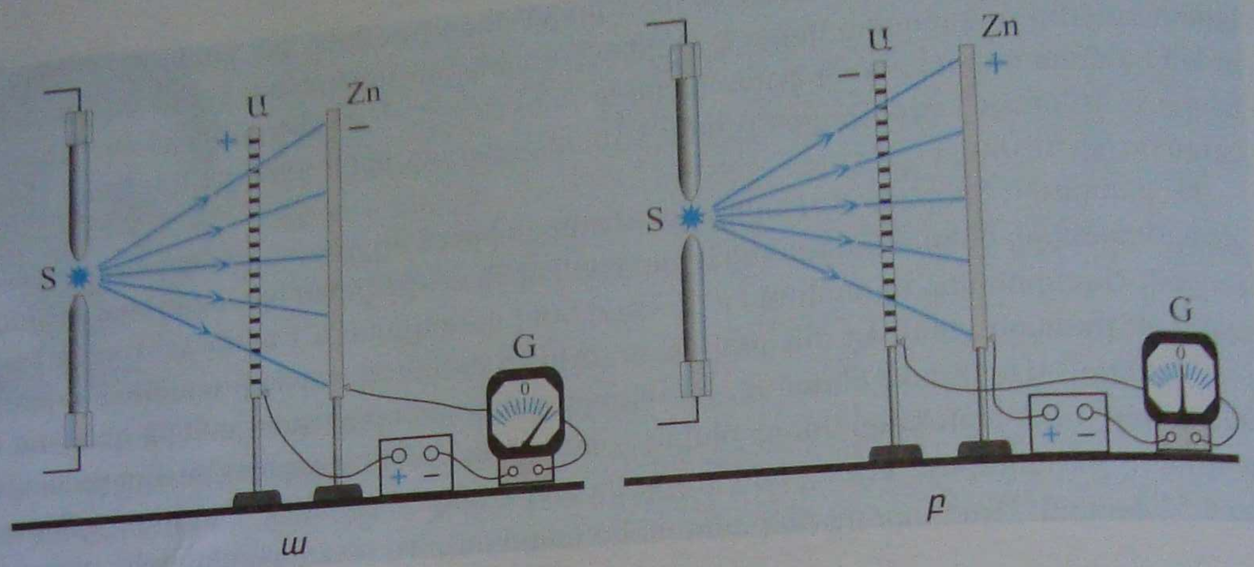
1. *Ինչպե՞ս են կոչվում լուսային մասնիկները:*
2. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում ν հաճախությամբ լույսի ֆոտոնի իմպուլսը:*
3. *Ի՞նչ բանաձևով է որոշվում ν հաճախությամբ լույսի ֆոտոնի զանգվածը:*
4. *Ֆոտոնի զանգվածն արտահայտե՛ք վակուումում լույսի ալիքի երկարությամբ:*
5. *Գրե՛ք ֆոտոնի էներգիայի և իմպուլսի կապն արտահայտող բանաձևը:*
6. *Ո՞ր գույնի լույսի ֆոտոնի զանգվածն է մեծ՝ կարմի՞րի, թե՞ երկնագույնի: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
7. *Ի՞նչ առնչությամբ են կապված լույսի ալիքի երկարությունը և ֆոտոնի իմպուլսը:*
8. *Փոխվու՞մ է արդյոք ֆոտոնի էներգիան մի միջավայրից մյուսն անցնելիս:*

§ 94. Ֆոտոէֆեկտ, ֆոտոէֆեկտի առանձնահատկությունները

Ֆոտոէֆեկտ: Երբ լույսը կլանվում է նյութի կողմից, դիտվում են, այսպես կոչված, ֆոտոէլեկտրական երևույթներ, որոնցից է արտաքին ֆոտոէֆեկտը (հետագայում՝ ֆոտոէֆեկտ): ***Ֆոտոէֆեկտը լույսի ազդեցությամբ նյութից էլեկտրոններ պոկվելու երևույթն է:*** Ֆոտոէֆեկտը հայտնագործել է Հ.Հերցը 1887 թ.: Այս երևույթն ուսումնասիրվել է մի շարք ֆիզիկոսների (Ֆ. Լենարդ, Ա.Ստոլետով) կողմից:

Ֆոտոէֆեկտը դիտելու համար կինկի Zn թիթեղը, որը միացված է G զգայուն գալվանոմետրին, լուսավորում են լույսի S աղբյուրով (նկ.178): Աղբյուրից ճառագայթներն Ա ցանցի միջով թիթեղի վրա ուղղելիս շղթայում միացված G գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է, այսինքն՝ շղթայում հոսանք է առաջանում: Այս երևույթը կարելի է բացատրել միայն հետևյալ կերպ. կինկի թիթեղից լույսի ազդեցությամբ պոկվում են լիցքավորված մասնիկներ, որոնք, հասնելով Ա ցանցին, փակում են շղթան՝ առաջացնելով հոսանք:

Որպեսզի որոշենք, թե որ նշանի լիցքերն են հոսանքի առաջացման պատճառը, շղթայում միացնենք հոսանքի աղբյուր: Եթե հոսանքի աղբյուրի բացասական բևեռը միացվում է Zn-ի թիթեղին (նկ. 178,ա), ապա գալվանոմետրով անցնող հոսանքի ուժը մեծանում է: Այստեղից կարելի է եզրակացնել, որ Zn-ի թիթեղից պոկված մասնիկներն



Նկ. 178

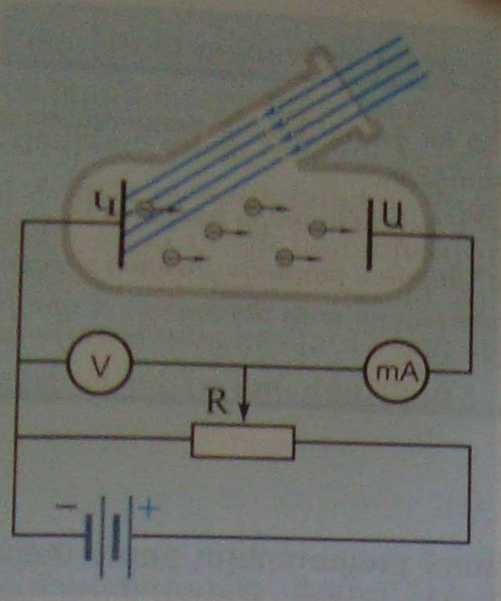
էլեկտրոններ են, որոնք, վանվելով բացասական լիցքավորված թիթեղից, հասնում են Ա էլեկտրոդին և մեծացնում հոսանքը շղթայում: Հակառակ դեպքում, երբ հոսանքի աղբյուրի դրական բևեռն է միացվում Zn-ի թիթեղին (նկ. 178,բ), լարման մեծացման հետ հոսանքի ուժը նվազում է՝ հավասարվելով զրոյի: Պատճառն այն է, որ Zn-ի թիթեղից պոկված էլեկտրոնները ձգվում են նրա կողմից, և, լարման որոշակի արժեքից սկսած, այլևս ոչ մի էլեկտրոն չի հասնում Ա ցանցին: Այսպիսով՝ լույսի ազդեցությամբ սյինկի թիթեղից պոկվում են էլեկտրոններ:

Եթե լույսի աղբյուրի և Zn-ի թիթեղի միջև դրվի ապակու շերտ, ապա ֆոտոէֆեկտ չի դիտվի: Հայտնի է, որ ապակին կլանում է ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները, հետևաբար՝ Zn-ից էլեկտրոնները պոկվում են հենց ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների ազդեցությամբ:

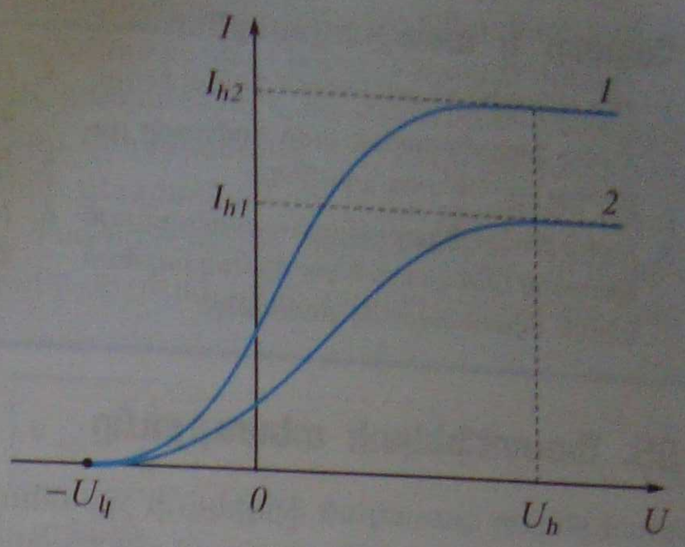
Ֆոտոէֆեկտի ուսումնասիրությունը: Ֆոտոէֆեկտի առանձնահատկություններն ուսումնասիրելու համար օգտվում են նկ. 179-ում պատկերված սարքից: Ապակե բալոնի մեջ, որից օդը հանված է, տեղադրում են երկու էլեկտրոդ՝ Կ և Ա: Բալոնի լուսամուտը փակված է քվարցե ապակիով, որը թափանցիկ է ոչ միայն լույսի, այլև ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման համար: Էլեկտրոդները միացվում են հոսանքի աղբյուրին ըստ նկ. 179-ում բերված սխեմայի: Էլեկտրոդներին տրվող լարումը կարգավորվում է R պոտենցիոմետրով և չափվում V վոլտմետրով, իսկ հոսանքը՝ mA միլիամպերմետրով:

Հավաքված սարքի միջոցով, որպես Կ էլեկտրոդ օգտագործելով տարբեր մետաղներ, կարելի է ստանալ ֆոտոէֆեկտի վոլտ-ամպերային բնութագիծը՝ I ֆոտոհոսանքի ուժի կախումն էլեկտրոդների միջև կիրառված U լարումից՝ Կ էլեկտրոդի վրա ընկնող լուսային փնջի տարբեր Φ ուժգնությունների դեպքում: Նկ. 180-ում պատկերված է I ֆոտոհոսանքի ուժի՝ փորձում ստացված կախումն U լարումից երկու տարբեր ուժգնությունների համար ($\Phi_2 > \Phi_1$), նույն կաթոդի դեպքում: Ստացված կորերից կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները՝

1. Երբ $U = 0$, ֆոտոհոսանքի ուժը՝ $I \neq 0$: Սա նշանակում է, որ կաթոդից լույսի ազդեցությամբ պոկված էլեկտրոններն ունեն կինետիկ էներգիա, որի շնորհիվ հասնում են անոդին՝ շղթայում ստեղծելով հոսանք:



Նկ. 179



Նկ. 180

2. Էլեկտրոդների միջև կիրառված լարումը մեծացնելիս ֆոտոհոսանքի ուժը մեծանում է, սակայն որոշակի U_h լարումից մեծ լարումների համար ֆոտոհոսանքի ուժն այլևս չի աճում և մնում է հաստատուն: I_h արժեքն անվանում են ***հագեցման հոսանքի ուժ***: Հագեցումը պայմանավորված է նրանով, որ կաթոդից պոկված բոլոր էլեկտրոնները հասնում են անոդին: Հետևաբար, փորձում չափելով հագեցման հոսանքի ուժը, կարող ենք որոշել կաթոդից 1 վ-ում պոկված էլեկտրոնների n_e թիվը՝ $I_h = en_e$:

3. Որոշակի $U_կ$ (կասեցնող) լարման դեպքում ֆոտոհոսանքի ուժը դառնում է հավասար զրոյի անկախ Կ էլեկտրոդին ընկնող լույսի ուժգնությունից (նկ. 180-ում երկու կորերն էլ սկսվում են միևնույն $-U_կ$ կետից): Սա նշանակում է, որ Կ էլեկտրոդից պոկված ոչ մի էլեկտրոն չի հասնում Ա էլեկտրոդին: Հետևաբար, փորձում չափելով $U_կ$ ***կասեցնող լարումը***՝ կարող ենք որոշել էլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_կ : \qquad (10.4)$$

Ֆոտոէֆեկտի օրենքները: Բազմաթիվ փորձերի արդյունքում ստացված են ֆոտոէֆեկտի հետևյալ օրենքները.

1. ***Հագեցման ֆոտոհոսանքի ուժն ուղիղ համեմատական է մետաղի վրա ընկնող լույսի ուժգնությանը.***

$$I_h \sim \Phi : \qquad (10.5)$$

2. ***Ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան կախված չէ ընկնող լույսի ուժգնությունից. այն հաճախության մեծացման հետ գծայնորեն աճում է:***

3. ***Յուրաքանչյուր նյութի համար գոյություն ունի հաճախության որոշակի ν_{min} արժեք, որից փոքր հաճախությունների դեպքում ֆոտոէֆեկտ չի դիտվում:*** ν_{min} հաճախությունը կոչվում է ***ֆոտոէֆեկտի կարմիր սահման***:

4. Մետաղը ճառագայթահարելուց մինչև ֆոտոէլեկտրոնների պոկվելն անցած ժամանակամիջոցը՝ $\tau < 10^{-9}$ վ -ից, հետևաբար, ***ֆոտոէֆեկտը ոչ իներցիոն երևույթ է:***

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում ֆոտոէֆեկտ:*
2. *Գծե՛ք ֆոտոհոսանքի ուժի կախումը լարումից պատկերող գրաֆիկը:*
3. *Գրե՛ք ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիայի և կատեցնող լարման կապն արտահայտող բանաձևը:*
4. *Որո՞նք են ֆոտոէֆեկտի առանձնահատկությունները:*
5. *Ինչո՞ւ է ֆոտոհոսանքը հագեցնում:*
6. *Ինչո՞ւ լարման բացակայության դեպքում ֆոտոհոսանքի ուժը հավասար չէ զրոյի:*

§ 95. Ֆոտոէֆեկտի տեսությունը

Ֆոտոէֆեկտը դասական ֆիզիկայի շրջանակներում բացատրելու բոլոր փորձերն անհաջողություն կրեցին: Ըստ դասական ֆիզիկայի՝ էլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան պետք է կախված լինի լույսի ուժգնությունից, քանի որ որքան ուժգին է լույսը, այնքան մեծ ուժով է այն ազդում էլեկտրոնի վրա, և այնքան մեծ է լուսային դաշտում էլեկտրոնի ձեռք բերած կինետիկ էներգիան: Իրականում էլեկտրոնի կինետիկ էներգիան կախված չէ լույսի ուժգնությունից: Մյուս կողմից, ըստ դասական ֆիզիկայի, պարզ չէ, թե ինչու ուլտրամանուշակագույն ճառագայթումը պետք է էլեկտրոն պոկի, իսկ ինֆրակարմիր ճառագայթումը կամ լույսը՝ ոչ: Այսպիսով, ըստ դասական ֆիզիկայի՝ ֆոտոէֆեկտում էական դեր պետք է խաղա լույսի ուժգնությունը և ոչ թե նրա հաճախությունը:

Ֆոտոէֆեկտի բացատրությունը տվեց Ա. Այնշտայնը՝ այդ երևույթի հայտնագործումից մոտ 20 տարի անց՝ 1905 թ.: Նա ենթադրեց, որ լույսը ոչ միայն արձակվում, այլև կլանվում է բաժիններով: Այսպիսով՝ ***լույսը բաղկացած է ֆոտոններից, այն ֆոտոնների հոսք է:*** Նյութը կլանում է առանձին ֆոտոն, ինչի արդյունքում նյութից էլեկտրոն է պոկվում:

Այն նվազագույն աշխատանքը, որն անհրաժեշտ է էլեկտրոնը նյութից պոկելու համար, կոչվում է ելքի աշխատանք:

Եթե ֆոտոնի $h\nu$ էներգիան մեծ է ելքի աշխատանքից, ապա ֆոտոնի էներգիայի մի մասը ծախսվում է էլեկտրոնը մետաղից պոկելու վրա, իսկ մնացած մասի հաշվին էլեկտրոնը ձեռք է բերում կինետիկ էներգիա: Այսպիսով, յուրաքանչյուր ֆոտոն, կլանվելով նյութի կողմից, նրանից պոկում է մեկ էլեկտրոն: Ըստ էներգիայի պահպանման օրենքի՝

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \qquad (10.6)$$

որտեղ A-ն ելքի աշխատանքն է: (10.6) առնչությունը ***Այնշտայնի հավասարումն*** է ֆոտոէֆեկտի համար, որի հիման վրա բացատրվում են ֆոտոէֆեկտի բոլոր օրենքները:

Այսպես, քանի որ մեկ ֆոտոնը մետաղից պոկում է մեկ էլեկտրոն, ապա 1 վ-ում պոկված էլեկտրոնների թիվը համեմատական է նույն ժամանակամիջոցում ընկած ֆոտոնների N_ϕ թվին՝ $n_e \sim N_\phi$: Մյուս կողմից, լույսի ուժգնությունը՝ $\Phi = h\nu N_\phi$, ուստի հագեցման ֆոտոհոսանքի ուժի համար կստանանք՝

$$I_h \sim n_e \sim N_\phi \sim \Phi, \qquad (10.7)$$

ինչն իրենից ներկայացնում է ֆոտոէֆեկտի I օրենքը:

Ըստ (10.6) բանաձևի՝ էլեկտրոնի առավելագույն կինետիկ էներգիան կախված է լույսի հաճախությունից, բայց ոչ նրա ուժգնությունից (Ֆոտոէֆեկտի II օրենք):

Որպեսզի տեղի ունենա ֆոտոէֆեկտ, անհրաժեշտ է, որ քվանտի $h\nu$ էներգիան մեծ լինի A ելքի աշխատանքից: Պարզ է, որ փոքրացնելով ν-ն, մենք կհասնենք մի ν_{min} արժեքի, որից փոքր հաճախությունների դեպքում ֆոտոէֆեկտ չի դիտվի ($h\nu$-ն ելքի աշխատանքից փոքր է դառնում): ν_{min} հաճախությունը՝ ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանը» (սահմանը կոչվում է կարմիր, քանի որ լույսի ամենափոքր հաճախությունն ունի կարմիր գույնի լույսը) որոշվում է

$$\nu_{min} = \frac{A}{h} \qquad (10.8)$$

արտահայտությամբ (Ֆոտոէֆեկտի III օրենք):

Նկատի ունենալով լույսի հաճախության և ալիքի երկարության $\lambda = c/\nu$ կապը, (10.8) բանաձևից կստանանք՝

$$\lambda_{max} = \frac{c}{\nu_{min}} = \frac{hc}{A}; \qquad (10.9)$$

Տվյալ նյութի (այսինքն՝ տրված A-ի) համար ֆոտոէֆեկտ կդիտվի միայն այն դեպքում, երբ ընկնող լույսի ալիքի երկարությունը՝ $\lambda < \lambda_{max}$:

Ֆոտոէֆեկտի IV օրենքը նույնպես բացատրվում է (10.6) հավասարումով, քանի որ ստանալով $h\nu - A > 0$ կինետիկ էներգիա, էլեկտրոնն ակնթարթորեն դուրս է թռչում մետաղից:

Այսպիսով, քվանտային տեսության շրջանակներում հնարավոր եղավ բացատրել ֆոտոէֆեկտի բոլոր օրենքները:

Իսկ ի՞նչ կարելի է ասել ելքի աշխատանքի մասին:

Ելքի աշխատանքը կախված է նյութի տեսակից: Այն տարբեր նյութերի համար տարբեր է, ուստի տարբեր է նաև ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանը»:

Քվանտային ֆիզիկայում հարմար է էներգիան չափել 1էՎ միավորով: 1 էՎ-ն այն էներգիան է, որը ձեռք է բերում $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Կլ լիցքը՝ անցնելով 1Վ պոտենցիալների տարբերություն՝

$$1\,\text{էՎ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Ջ}:$$

Ցինկի համար ելքի աշխատանքը հավասար է 4,2 էՎ-ի, ուստի ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանին» համապատասխանող ալիքի երկարությունը՝ $\lambda_{max} = 0{,}3$ մկմ, որն ընկած է լույսի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում: Ալյումինի կամ երկաթի ելքի աշխատանքն ավելի մեծ է, քան ցինկինը, հետևաբար, ֆոտոէֆեկտի համար անհրաժեշտ են ավելի մեծ հաճախությամբ (էներգիայով) ֆոտոններ: Ալկալիական մետաղների ելքի աշխատանքն ունի ավելի փոքր արժեքներ: Ցեզիումի (Cs, A =1,9 էՎ) «կարմիր սահմանին» համապատասխանող հաճախությունը՝ $\nu_{min} = 5 \cdot 10^{15}$ Հց, որը համապատասխանում է կարմիր լույսին: Բարիումի օքսիդի (BaO) ելքի աշխատանքը մոտ 2 անգամ ավելի փոքր է՝ $A = 1$ էՎ:

Ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանի» հասկացությունը գոյություն ունի լույսի ոչ հզոր աղբյուրների համար: Եթե նույն նյութի վրա ընկնի լազերային ճառագայթ (լազերին

կծանոթանաք գլուխ 11-ում), և եթե մեկ ֆոտոնի էներգիան չբավարարի ֆոտոէֆեկտ առաջացնելու համար, ապա «օգնության կգա» երկրորդ ֆոտոնը. դրանց էներգիաները կգումարվեն, և տեղի կունենա ֆոտոէֆեկտ, այսինքն՝ «կարմիր սահման» հասկացությունը կիմաստազրկվի:

Ֆոտոէֆեկտը համեմատաբար հեշտ է դիտվում մետաղներում: Դիէլեկտրիկներում ֆոտոէֆեկտ առաջացնելու համար անհրաժեշտ են ավելի մեծ էներգիաներ: Ֆոտոէֆեկտի կիրառության համար ավելի հարմար նյութեր են կիսահաղորդիչները: Նրանցում տեղի է ունենում ***ներքին ֆոտոէֆեկտ՝ լույսի ազդեցությամբ նյութում ազատ լիցքակիրների կոնցենտրացիայի, հետևաբար, նյութի էլեկտրահաղորդականության փոփոխություն***: Լույսը, հաճախ նաև ինֆրակարմիր ճառագայթումը, գերմանիումի, սիլիցիումի բյուրեղներում առաջացնում են ֆոտոէֆեկտ, այսինքն՝ ճառագայթման ազդեցությամբ կիսահաղորդիչներում առաջանում է հոսանք:

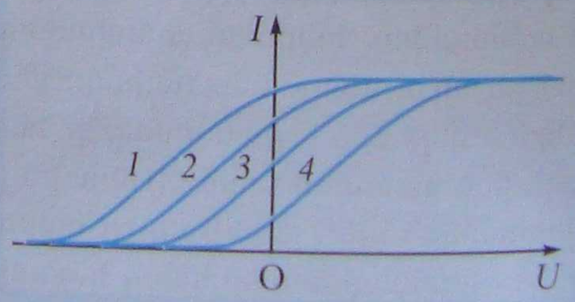
Առաջին անգամ Պլանկի հաստատունը բավական ճշգրիտ որոշվել է ֆոտոէֆեկտի հիման վրա: Պլանկի հաստատունի որոշման մի եղանակ է դիտարկված N 10 լաբորատոր աշխատանքում (§ 97):

Հետաքրքիր փաստ է, որ Այնշտայնի գաղափարների ընկատմամբ երկար ժամանակ թերահավատ էր ինքը՝ Պլանկը: 1912 թ. նա, Այնշտայնին երաշխավորելով որպես Պրուսական գիտությունների ակադեմիայի իսկական անդամ, խնդրում էր, որ նրա նկատմամբ ներողամիտ լինեն և լուրջ չընդունեն լույսի քվանտների նրա վարկածը:

Ֆոտոէֆեկտի բացատրության համար Այնշտայնը 1921 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Գրե՛ք Այնշտայնի բանաձևը ֆոտոէֆեկտի համար:*
2. *Ի՞նչն են անվանում ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահման»:*
3. *Ի՞նչն են անվանում ելքի աշխատանք:*
4. *Գրե՛ք ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանի» և ելքի աշխատանքի կապն արտահայտող բանաձևը:*
5. *Ինչո՞ւ ֆոտոէֆեկտ դիտվում է միայն ընկնող լույսի որոշակի հաճախությունից մեծ հաճախությունների դեպքում:*
6. *Նկարում ո՞ր համարով է նշված այն գրաֆիկը, որը համապատասխանում է ֆոտոէլեկտրոնների ամենամեծ կինետիկ էներգիային: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
7. *Նկարում ո՞ր համարով է նշված այն գրաֆիկը, որը համապատասխանում է լույսի ալիքի ամենամեծ երկարությանը: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
8. *Գծե՛ք ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիայի կախումը լույսի հաճախությունից պատկերող գրաֆիկը:*
9. *Ինչպե՞ս կփոխվի ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան, եթե ընկնող լույսի հաճախությունը մեծացվի երկու անգամ: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*



§ 96. Ֆոտոէֆեկտի կիրառությունները

Գիտատեխնիկական առաջընթացը մեծ չափով պայմանավորված է ֆիզիկայի գյուտերով: Ֆիզիկական շատ երևույթների նման ֆոտոէֆեկտը ևս հիմք հանդիսացավ մի շարք սարքերի ստեղծման, որոնք լայն կիրառություն ունեն տեխնիկայում և կենցաղում: Ֆոտոէֆեկտի միջոցով «համր» կինոն դարձավ «խոսող», նրա շնորհիվ հնարավոր դարձավ պատկերների հաղորդումը հեռատատեսությամբ: Ֆոտոէֆեկտի վրա հիմնված սարքերը ժամանակին միացնում և անջատում են փարոսները, փողոցների լուսավորությունը, լուսացույցները: Դրանք օգտագործվում են մետրոյում:

Ֆոտոէֆեկտի հիման վրա գործող սարքի ամենակարևոր մասը ***ֆոտոէլեմենտն*** է: Ֆոտոէլեմենտն ապակե անոթ է, որից օդը հանված է: Անոթի ներքին մակերևույթի մի մասը պատված է փոքր ելքի աշխատանք ունեցող մետաղի բարակ շերտով, որը ծառայում է որպես կաթոդ (նկ. 181): Լույսի տիրույթում աշխատող ֆոտոէլեմենտների կաթոդները պատրաստվում են համեմատաբար փոքր ելքի աշխատանք ունեցող ալկալիական մետաղներից:

Լույսը պատուհանից թափանցում է անոթի մեջ և ֆոտոէֆեկտի շնորհիվ կաթոդից պոկում էլեկտրոններ, որոնք շարժվում են դեպի անոթի կենտրոնում տեղավորված օղակաձև անոդը: Անոդը միացվում է մարտկոցի դրական բևեռին և, հետևաբար, դեպի իրեն է ձգում ֆոտոէլեկտրոնները՝ շղթայում առաջացնելով էլեկտրական հոսանք: Նկարագրված ֆոտոէլեմենտն անվանում են նաև ***ֆոտոդիոդ***՝ լույսով աշխատող երկէլեկտրոդ էլեկտրոնային լամպ:

Նկ. 181

Ֆոտոէլեմենտը ֆոտոռելեի կարևոր բաղադրիչն է: Ֆոտոէլեմենտի վրա լույս ընկնելիս շղթայում առաջանում է հոսանք, որը միացնում կամ անջատում է ռելեն: Օրինակ՝ նման մի ռելե է օգտագործվում մետրոյում դրված ավտոմատում, որը մարդու դիմաց չի փակում արգելափակոցը, եթե նախօրոք ավտոմատի մեջ ժետոն է գցված:

Ֆոտոէֆեկտի երևույթի վրա է հիմնված նաև լայն կիրառություն ունեցող կիսահաղորդչային ֆոտոդիոդի գործողությունը: Ֆոտոդիոդներն օգտագործվում են արևային մարտկոցներում: Տիեզերական կայանների էլեկտրամատակարարումը հիմնականում կատարվում է արևային մարտկոցներով:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Լույսը ո՞ր մետաղներում է առաջացնում ֆոտոէֆեկտ:*
2. *Ի՞նչ կիրառություններ ունի ֆոտոէֆեկտը:*
3. *Ինչո՞ւ է ֆոտոէլեմենտի կաթոդը պատրաստվում համեմատաբար փոքր ելքի աշխատանք ունեցող մետաղից:*
4. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի ֆոտոէլեմենտը:*

§ 97. Լաբորատոր աշխատանք N10. Պլանկի հաստատունի որոշումը

Աշխատանքի նպատակը. փորձով դիտել ֆոտոէֆեկտը և որոշել Պլանկի հաստատունի արժեքը:

Չափամիջոցներ. 1. զգայուն գալվանոմետր (10^{-8} Ա բաժանման արժեքով կամ Н1032 ուժեղացուցիչով) կամ միկրոամպերմետր, 2. վոլտմետր (0÷1,5 Վ սանդղակով), 3100 Օմ դիմադրությամբ պոտենցիոմետր:

Նյութեր և սարքեր. 1. ֆոտոէլեմենտ (Ф-26), 2. լույսի աղբյուր (Фотон, $V = 220$ Վ), 3. հոսանքի աղբյուր (ВУП-2), 4. ուժեղացուցիչ (УЭГ կամ КПФ.1):

Փորձի կատարման ընթացքը.

1. Հավաքել գծագրում բերված շղթան՝ օգտագործելով ֆոտոէլեմենտը (Ф-26), լույսի աղբյուրը (Фотон, $V = 220$ Վ), զգայուն գալվանոմետրը (10^{-8} Ա բաժանման արժեքով կամ М1032 ուժեղացուցիչով), վոլտմետրը 0÷1,5 Վ սանդղակով, 100 Օմ դիմադրությամբ պոտենցիոմետրը, հոսանքի աղբյուրը (ВУП-2), ուժեղացուցիչը (УЭГ): Կարելի է օգտագործել КПФ.1-ը:

2. Մարտկոցն անջատել, լամպի առջև տեղադրել նարնջագույն լուսազտիչ և լուսավորել ֆոտոէլեմենտի կաթոդը: Համոզվել, որ գալվանոմետրի սլաքը շեղվում է, այսինքն՝ շղթայում ֆոտոէֆեկտի հետևանքով էլեկտրական հոսանք է առաջանում:

Ըստ Այնշտայնի հավասարման՝

$$h\nu_1 = A + \frac{mv_1^2}{2},$$

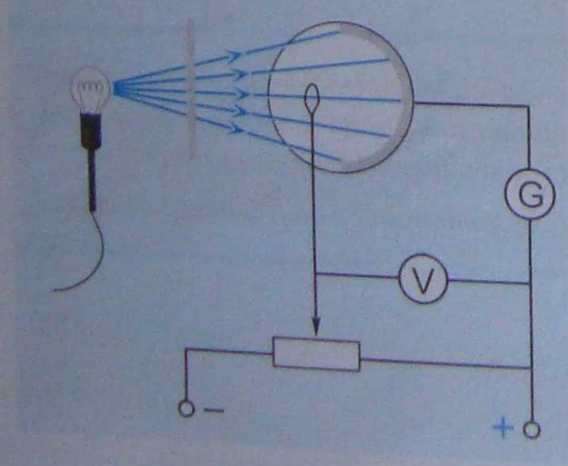
որտեղ ν_1-ը նարնջագույն լույսի հաճախությունն է, A-ն՝ ելքի աշխատանքը, $mv_1^2/2$-ը՝ էլեկտրոնի առավելագույն կինետիկ էներգիան:

3. Մարտկոցը միացնել և պոտենցիոմետրի միջոցով լարումը մեծացնել այնքան, մինչև շղթայում հոսանքը դադարի: Չափել կասեցնող լարումը՝ $U_{կ1}$-ը:

Ըստ (10.4) բանաձևի՝ $eU_{կ1} = mv_1^2/2$:

4. Փորձը կրկնել կապույտ լուսազտիչի օգնությամբ: Չափել կասեցնող լարումը՝ $U_{կ2}$-ը: Ըստ Այնշտայնի հավասարման՝

$$h\nu_2 = A + \frac{mv_2^2}{2}, \qquad \frac{mv_2^2}{2} = eU_{կ2},$$



որտեղ ν_2-ը կապույտ լույսի հաճախությունն է:

5. Այս արտահայտություններից արտաքսելով A-ն՝ h-ի համար կստանանք՝

$$h = e\frac{U_{կ2} - U_{կ1}}{\nu_2 - \nu_1}:$$

Տեղադրելով ν_1-ի և ν_2-ի արժեքները, ինչպես նաև փորձում չափված $U_{կ1}$, $U_{կ2}$ մեծությունները՝ կստանանք h-ի արժեքը:

§ 98. Լույսի քիմիական ազդեցությունը: Լուսանկարչություն

Ֆոտոքիմիական ռեակցիա: Տեսանելի ճառագայթման (լույսի) և ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման էներգիան բավարար է շատ մոլեկուլներ ճեղքելու համար: Այսպիսի ազդեցության հետևանքով մոլեկուլը կարող է բաժանվել ատոմների. օրինակ՝ ամոնիակի (NH_3) մոլեկուլը տրոհվում է ազոտի և ջրածնի ատոմների: Ճառագայթման ազդեցությամբ կարող են առաջանալ նաև բարդ մոլեկուլներ, օրինակ՝ քլորաջրածին (HCl)՝ քլորի և ջրածնի խառնուրդը լուսավորելիս: Այս չափազանց բուռն ընթացող պրոցեսն ուղեկցվում է պայթյունով:

Այն քիմիական պրոցեսները, որոնք տեղի են ունենում ճառագայթման ազդեցությամբ (վերջինիս բացակայությամբ ռեակցիան չի ընթանում), կոչվում են ֆոտոքիմիական ռեակցիաներ: Ֆոտոքիմիական շատ ռեակցիաներ չափազանց կարևոր դեր են խաղում բնության մեջ և տեխնիկայում:

Ֆոտոսինթեզ: Բնության մեջ հայտնի կարևորագույն ֆոտոքիմիական ռեակցիան բույսերի կանաչ զանգվածում լույսի ազդեցությամբ ընթացող ֆոտոսինթեզն է:

Ծառի տերևներն օդից կլանում են ածխաթթու գազ և լույսի ազդեցությամբ այն բաժանում ածխածնի ատոմի և թթվածնի մոլեկուլի: Այնուհետև ածխածինը միանում է բույսի արմատների և բնի միջով տերև հասած ջրին՝ վերածվելով ածխաջրի: Ֆոտոսինթեզի ռեակցիայի հավասարումն է՝

$$CO_2 + H_2O + \text{լույսի քվանտ} \rightarrow CH_2O + O_2:$$

Այս պրոցեսի արդյունքում բույսն արտադրում է կյանքի համար անհրաժեշտ թթվածին և ածխաջրեր ($C_nH_{2n}O_n$ տիպի միացություններ): Ռեակցիան ընթանում է արևի սպեկտրի կարմիր ճառագայթների ազդեցությամբ:

Կենդանիների և բույսերի կենսագործունեության (շնչառության) արդյունքում անընդհատ արտադրվում է ածխաթթու գազ, և եթե չլիներ այս ռեակցիան, որի արդյունքում ածխաթթու գազը ճեղքվում է, վերածվելով թթվածնի և ածխածնի, ապա անհնար կլիներ օրգանական կյանքի գոյությունը Երկրի վրա:

Մյուս կողմից, բույսերի արմատները հողից վերցնում են տարբեր նյութեր, որոնք ածխածնի հետ մտնելով սինթեզի ռեակցիայի մեջ, վերածվում են սպիտակուցների, ճարպերի և ածխաջրերի: Այլ կերպ ասած՝ բուսական աշխարհը սննդանյութ արտադրող մի հսկա ֆաբրիկա է: Արեգակի էներգիայի այն մասը, որն օգտագործվում է ֆոտոսինթեզի համար, շատ անգամ գերազանցում է Երկրի վրա արտադրվող էլեկտրաէներգիային:

Լուսանկարչություն: Ֆոտոքիմիական ռեակցիայի երկրորդ օրինակը լույսի ազդեցությամբ որոշ մոլեկուլների ճեղքումն է չեզոք ատոմների: Մասնավորապես, լուսանկարչության հիմքում ընկած է արծաթի բրոմիդի (AgBr) ֆոտոտրոհման ռեակցիան՝

$$AgBr + \text{լույսի քվանտ} \rightarrow Ag + Br:$$

Լուսանկարչական ժապավենի (լուսանկարչական թղթի) լուսազգայուն շերտը բաղկացած է AgBr-ի մոլեկուլներից: Նկարահանման պրոցեսում ժապավենի այն տիրույթներում, որտեղ լույս է ընկնում, ֆոտոտրոհման հետևանքով AgBr-ից անջատվում է արծաթ, որը հանգեցնում է այդ տիրույթների սևացմանը: Արծաթի անջատումը,

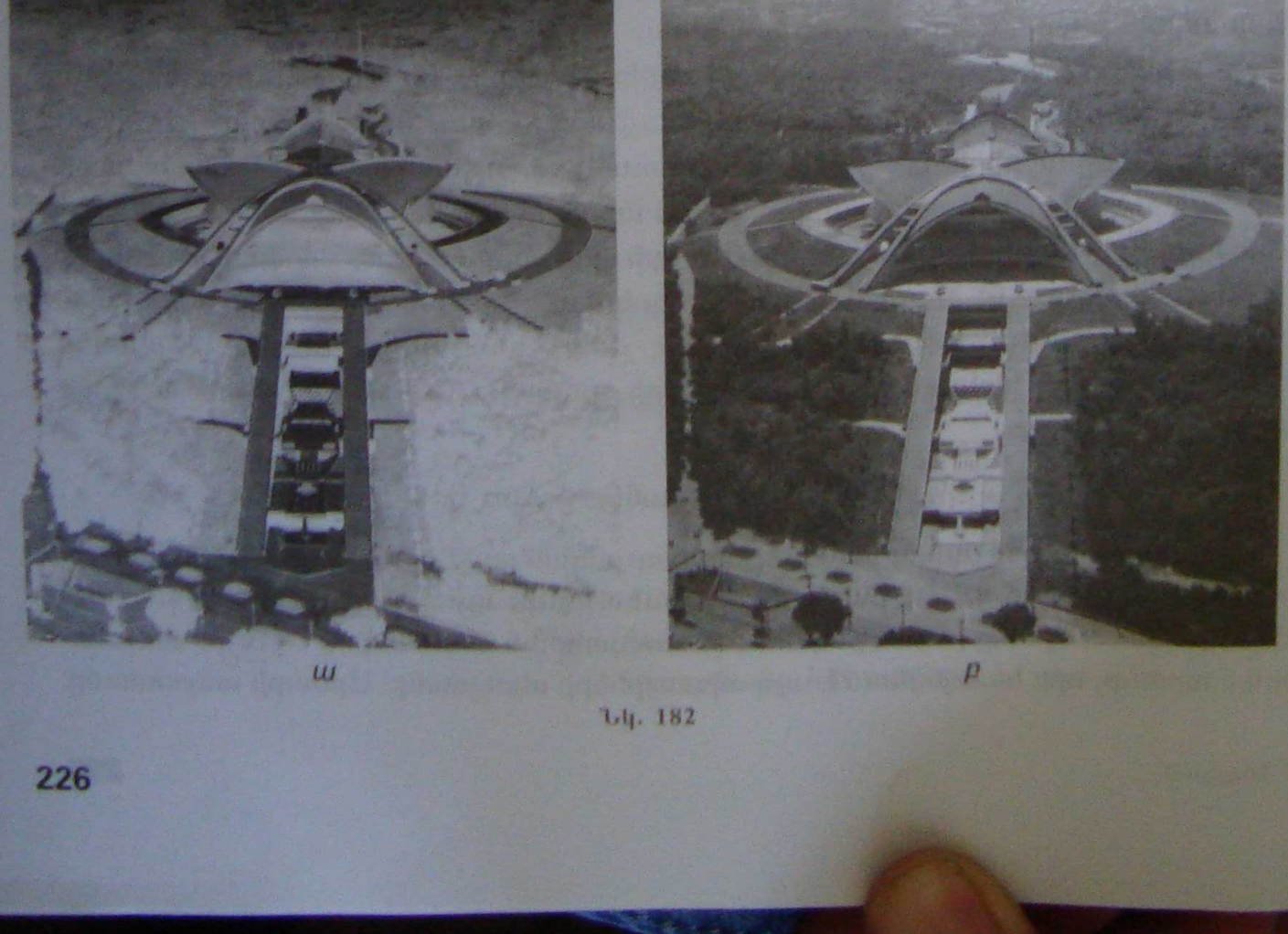
հետևաբար՝ նաև ժապավենի սևացումը, կախված են ընկնող լույսի ուժգնությունից: Որտեղ այն մեծ է, այնտեղ շատ արծաթ է անջատվում, և այնքան շատ է ժապավենի այդ մասը սևանում: Ժապավենի մյուս բջիջներում, որտեղ լույս չի ընկնում, արծաթի անջատում տեղի չի ունենում, և դրանք մնում են սպիտակ: Արդյունքում ժապավենի վրա առաջանում է առարկայի իրական պատկերի հակառակ պատկերը՝ **նեգատիվը**:

Մյուս կողմից, պարզ է, որ ժապավենը չի կարելի լույսի տակ նայել, քանի որ անմիջապես կսկավի լույսի ազդեցության չենթարկված AgBr-ի քայքայումը, և ամբողջ ժապավենը կսևանա: Այս պատճառով ժապավենը նախ երևակում են, ապա՝ սևեռակում: Ժապավենի երևակումը նկարված պատկերի երևան հանելու գործողությունն է: Այդ նպատակով ժապավենը մտցնում են քիմիական հատուկ լուծույթի մեջ (հիդրոքինոն, մետոլ և այլն), որի ազդեցությամբ այն բջիջներում, որտեղ տեղի էր ունեցել AgBr-ի քայքայումը, շարունակվում է մնացած մոլեկուլների քայքայումը: Առաջանում են արծաթի բազմաթիվ ատոմներ, և նեգատիվը աչքի համար դառնում է տեսանելի:

Երևակումից հետո ժապավենը դեռևս չի կարելի լույսի տակ նայել, քանի որ կսկսվեն քայքայվել այն բջիջների մոլեկուլները, որոնց վրա նկարահանելիս լույս չէր ընկել: Անհրաժեշտ է նախ հեռացնել այդ տեղերում մնացած մոլեկուլները՝ կատարել սևեռակում: Այդ նպատակով ժապավենը մտցնում են հատուկ լուծույթի (սևեռակիչի) մեջ, որտեղ դեռևս չքայքայված մոլեկուլները անջատվում են ժապավենից: Վերջում ժապավենը լվանում են ջրով:

Այս գործողություններից հետո միայն ժապավենը կարելի է նայել լույսի տակ: Ժապավենի վրա հստակ երևում է նկարահանված պատկերի նեգատիվը (նկ. 182,ա):

Ժապավենից պատկերը լուսանկարչական թղթի վրա անցկացնելու համար կատարում են նույն գործողությունները: Արդյունքում թղթի վրա ստանում են նեգատիվ պատկերի նեգատիվը, այսինքն՝ իրական պատկերը կամ ***պոզիտիվը*** (նկ. 182,բ): Լուսանկարիչներն այս գործողությունները կատարում են կարմիր լույսի տակ, քանի որ կարմիր



ա

բ

Նկ. 182

լույսի էներգիան չի բավականացնում AgBr-ի մոլեկուլը բաշխելու համար, այսինքն՝ լուսանկարչական բառերը երևակելու ժամանակ ամբողջ բառերը չի վանում:

Լուսանկարչության, բայի կենցաղային կիրառություններից, օգտագործվում է նաև որպես գիտահետազոտական մեթոդ գալակտիկաներն ուսումնասիրելու, աստղեր հայտնաբերելու համար և այլն: Լուսանկարչական ապարատի օբյեկտիվն ազդում է մինչև Տիեզերքի ուսումնասիրվող մասը, որը ներկայանում է ոչ թե 1÷2 վայրկյան, այլ շատ ավելի երկար ժամանակ: Այն աստղը, որն աչքի համար նշմարելի չէ, երկար ժամանակ ներկայանում է լուսանկարչական ապարատով, և լուսանկարչական թիթեղի վրա երևում է նրա նեգատիվ պատկերը: Եվ աստղը հայտնաբերված է:

Ֆոտոքիմիական երևույթի բացատրությունը: Ֆոտոքիմիական երևույթը նման ռեակցիայի «կարմիր սահման»: Եթե ֆոտոնի հաճախությունը փոքր է որոշակի սահմանային արժեքից, ապա ռեակցիան տեղի չի ունենում: Ֆոտոէֆեկտի նման այս երևույթը նույնպես բացատրվեց քվանտային ֆիզիկայի շրջանակներում: Մոլեկուլի քայքայումը ճառագայթման ազդեցությամբ բացատրվում է հետևյալ կերպ: Ատոմները մոլեկուլում կապված են քիմիական կապերով, որոնք քանդվում են, երբ մոլեկուլը ստանում է էներգիայի որոշակի քանակ՝ կլանելով ֆոտոն: AgBr-ի մոլեկուլում Ag-ի և Br-ի ատոմները կապված են կուլոնյան փոխազդեցության ուժերով: Ճառագայթման ազդեցությամբ Br^- իոնից էլեկտրոնը պոկվում և միանում է Ag^+ իոնին. արդյունքում առաջանում են Ag-ի և Br-ի չեզոք ատոմներ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ռեակցիան է կոչվում ֆոտոքիմիական:*
2. *Ինչպիսի՞ ֆոտոքիմիական ռեակցիաներ գիտեք:*

§ 99. Էլեկտրամագնիսական ալիքների երկակի բնույթը

Ջերմային ճառագայթման, ֆոտոէֆեկտի և լույսի քիմիական ազդեցության երևույթներն ուսումնասիրելիս մենք համոզվեցինք, որ ճառագայթումն արձակվում և կլանվում է որպես մասնիկ, որն անվանեցինք ֆոտոն: Այդ մասնիկն ունի $h\nu/c$ իմպուլս և $h\nu$ էներգիա: Ուրեմն՝ լույսը մասնիկների հոսք է:

Մյուս կողմից, մենք գիտենք, որ լույսը մի շարք երևույթներում (լույսի ինտերֆերենց, դիֆրակցիա, դիսպերսիա) դրսևորում է ալիքային հատկություններ: Լույսն ունի ալիքի երկարություն և հաճախություն: Ուրեմն՝ լույսն ալիք է:

Թվում է, թե մենք եկանք հակասության: Իրականում լույսը հանդես է բերում և՛ մասնիկային, և՛ ալիքային հատկություններ: Օրինակ՝ լույսի անդրադարձման, բեկման և լույսի ճնշման երևույթները կարելի է հաջողությամբ բացատրել ինչպես դասական (ալիքային) ֆիզիկայի, այնպես էլ քվանտային ֆիզիկայի շրջանակներում: Այսպիսով, ***էլեկտրամագնիսական ալիքները (այդ թվում՝ լույսը) ունեն երկակի բնույթ՝ երբեմն հատուկ է մասնիկաալիքային երկակիությունը:***

Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման ալիքային կամ մասնիկային հատկությունների դրսևորումն էականորեն կախված է դրա ալիքի երկարությունից: Մեծ ալիքի երկարությամբ ճառագայթման՝ ռադիոալիքների համար ալիքային հատկություններն ավելի

դը Բրոյլ Լուի (1892–1987)

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս-տեսաբան, քվանտային մեխանիկայի առեղծվածներին: Առաջարկել է նյութական մասնիկների ալիքային հատկություններ ունենալու գաղափարը, որը փայլուն ձևով հաստատվել է փորձով (էլեկտրոնների դիֆրակցիան բյուրեղական ցանցում): 1929 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

վառ են արտահայտված: Ալիքի երկարության փոքրացմանը զուգընթաց սկսում են ի հայտ գալ էլեկտրամագնիսական ալիքների մասնիկային (քվանտային) հատկությունները: Լույսի և՛ ալիքային, և՛ մասնիկային հատկությունները դրսևորվում են հավասարապես: Էլ ավելի փոքրացնելով ալիքի երկարությունը՝ հասնում ենք γ - քվանտների տիրույթ, որտեղ արդեն գերիշխում են մասնիկային հատկությունները:

Ֆրանսիացի ֆիզիկոս Լ. դը Բրոյլն առաջ քաշեց մի վարկած, որի համաձայն մասնիկաալիքային երկակիությամբ օժտված են ոչ միայն ֆոտոնները, այլև տարրական այլ մասնիկներ՝ էլեկտրոնները, պրոտոնները: Այս վարկածը մի քանի տարի անց հաստատվեց փորձով:

1925 թ. Այնշտայնը Մ.Բոռնին առաջարկել է ծանոթանալ դը Բրոյլի դոկտորական ատենախոսությանը՝ գրելով. «Կարդացե՛ք այն: Չնայած թվում է, թե այն գրել է խելագար մի մարդ, այն գրված է հիմնովին»: Եվ, իսկապես, այն ժամանակ ո՞վ կհավատար, որ էլեկտրոնը, որը հայտնի է որպես մասնիկ, կարող է դրսևորել նաև ալիքային հատկություններ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ է լույսը՝ էլեկտրամագնիսական ալի՞ք, թե՞ մասնիկների հոսք:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Որոշել այն ֆոտոնի ալիքի երկարությունը, որի էներգիան հավասար է 10^{-10} կգ հանգստի զանգված ունեցող մասնիկի հանգստի էներգիային:***

Լուծում: Ֆոտոնի էներգիան, արտահայտված նրա ալիքի երկարությամբ, որոշվում է $E = hc/\lambda$ բանաձևով, որտեղ λ-ն ալիքի երկարությունն է, c-ն՝ վակուումում լույսի տարածման արագությունը:

m_0 զանգվածով մասնիկի հանգստի էներգիան որոշվում է Այնշտայնի բանաձևով՝

$$E_0 = m_0c^2 :$$

Ըստ խնդրի պայմանի՝ այդ էներգիաները միմյանց հավասար են.

$$\frac{hc}{\lambda} = m_0c^2 , \text{ որտեղից } \lambda = \frac{h}{m_0c} = 2{,}21 \cdot 10^{-12} \text{ մ} :$$

2. *Ի՞նչ նվազագույն կասեցնող լարում պետք է կիրառել ֆոտոէֆեկտի ուսումնասիրման սարքում, որպեսզի 10^{-7} մ ալիքի երկարությամբ ուլտրամանուշակագույն ճառագայթման ազդեցությամբ պոկված ֆոտոէլեկտրոնները շղթայում հոսանք չառաջացնեն: Կաթոդի մետաղի ելքի աշխատանքը $7{,}4\cdot10^{-19}$ Ջ է:*

Լուծում: Նվազագույն կասեցնող լարումը հավասար է ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիային՝

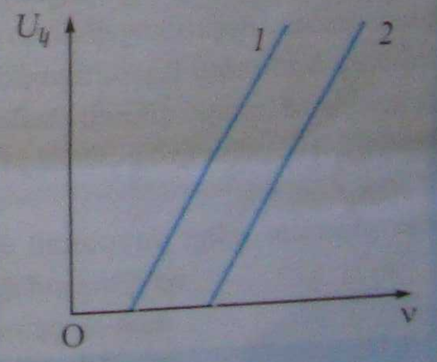
$$\frac{mv^2}{2}=eU_կ:$$

Առավելագույն կինետիկ էներգիան կարելի է գտնել ֆոտոէֆեկտի համար Այնշտայնի հավասարումից՝

$$h\nu=A+\frac{mv^2}{2},\ \text{որտեղից}\ U_կ=\frac{h\nu-A}{e}=\frac{1}{e}\left(\frac{hc}{\lambda}-A\right)=8\ \text{Վ}:$$

Խնդիրներ

1. *Որոշել 0,663 մկմ ալիքի երկարություն ունեցող ֆոտոնի էներգիան և զանգվածը:*
2. *Գտնել 0,3 մկմ ալիքի երկարություն ունեցող ֆոտոնի իմպուլսը:*
3. *Քանի՞ ֆոտոն է առաքում 1 վ-ում 100 Վտ հզորությամբ լամպը, եթե նրա ճառագայթած մեներանգ լույսի ալիքի երկարությունը $6\cdot10^{-7}$ մ է, և լույսի տեսքով ճառագայթվում է լամպի հզորության 3,3%-ը:*
4. *Ֆոտոնի էներգիան $5\cdot10^{-19}$ Ջ է: Ինչի՞ է հավասար նրա իմպուլսը:*
5. *Գտնել ֆոտոէլեկտրոնների առավելագույն արագությունը, եթե կասեցնող լարումը 2 Վ է:*
6. *Որոշել այն ֆոտոնի հաճախությունը, որը $3{,}2\cdot10^{-19}$ Ջ ելքի աշխատանք ունեցող մետաղից պոկում է $3{,}4\cdot10^{-19}$ Ջ կինետիկ էներգիայով էլեկտրոններ:*
7. *Որքա՞ն է ֆոտոէֆեկտի «կարմիր սահմանը», եթե ելքի աշխատանքը հավասար է $3{,}3\cdot10^{-19}$ Ջ-ի:*
8. *Մետաղե թիթեղի վրա ընկնում է $3\cdot10^{-7}$ մ ալիքի երկարությամբ ճառագայթում: Էլեկտրոնների հոսքը մետաղի մակերևույթից լրիվ արգելակվում է, երբ կասեցնող լարումը հավասարվում է 1 Վ-ի: Գտնել մետաղի ելքի աշխատանքը:*
9. *$2\cdot10^{-7}$ մ ալիքի երկարությամբ մեներանգ ճառագայթման հոսքի հզորությունը 0,18 Վտ է: Ենթադրելով, որ յուրաքանչյուր տասներորդ ֆոտոնը մետաղի մակերևույթից պոկում է 1 էլեկտրոն, որոշել հագեցման հոսանքի ուժը:*
10. *Նկարում բերված են լույսի ν հաճախությունից $U_կ$ կասեցնող լարման կախվածության գրաֆիկները կաթոդի երկու տարբեր նյութերի համար: Հիմնավորել այդ կախվածության գծայնությունը: Նյութերից ո՞րն ունի ավելի մեծ ելքի աշխատանք:*



ԳԼՈՒԽ 10-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ջերմային ճառագայթման օրինաչափությունները բացատրելու համար Մ.Պլանկը ենթադրեց, որ ատոմներն էլեկտրամագնիսական էներգիան արձակում են առանձին բաժիններով՝ քվանտներով: Յուրաքանչյուր քվանտի էներգիան որոշվում է $E = h\nu$ բանաձևով, որտեղ $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Ջ·վ-ը Պլանկի հաստատունն է, ν-ն՝ ճառագայթման հաճախությունը: Ֆոտոնի իմպուլսի մոդուլը որոշվում է $p = h/\lambda$ բանաձևով:

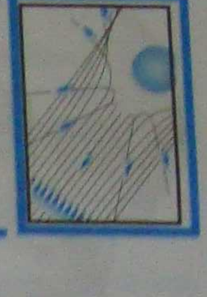
2. Էլեկտրամագնիսական էներգիայի կլանումը նույնպես կատարվում է առանձին քվանտներով: Դա հաստատվում է ֆոտոէֆեկտի երևույթով: Պոկված էլեկտրոնների քիվը համեմատական է ճառագայթման ուժգնությանը, իսկ էլեկտրոնների առավելագույն կինետիկ էներգիան որոշվում է ճառագայթման հաճախությամբ: Ըստ Այնշտայնի՝ կլանված էներգիայի $h\nu$ բաժինը ծախսվում է մետաղից էլեկտրոն պոկելիս A ելքի աշխատանք կատարելու և էլեկտրոնին կինետիկ էներգիա հաղորդելու վրա՝

$$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}:$$

3. Ճառագայթումն օժտված է հատկությունների երկակիությամբ: Ճառագայթումը դրսևորում է ինչպես ալիքային, այնպես էլ մասնիկային հատկություններ:

4. Նյութի կողմից ճառագայթման կլանումն ուղեկցվում է վերջինիս քիմիական ազդեցությամբ: Մթնոլորտից ածխաթթու գազը կլանվում է տերևների կողմից և քայքայվում թթվածնի և ածխածնի: Ածխածինն այնուհետև միանալով ջրին՝ առաջացնում է բարդ օրգանական միացություններ (ֆոտոսինթեզ):

11 ԱՏՈՄԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ



§ 100. Ատոմի կառուցվածքը

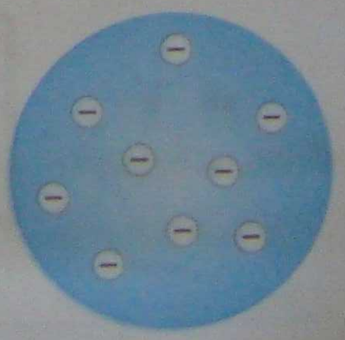
Մինչև XIX դարի սկիզբը ատոմը համարվում էր նյութի փոքրագույն, անբաժանելի մասնիկ: Սակայն աստիճանաբար, ֆիզիկայի զարգացմանը զուգընթաց, սկսեցին ի հայտ գալ երևույթներ, որոնք վկայում էին ատոմի բարդ կառուցվածքի մասին:

Էլեկտրոլիզի, մետաղների և գազերի էլեկտրահաղորդականության և մի շարք այլ երևույթների ուսումնասիրության արդյունքում գիտնականները հանգեցին այն եզրակացության, որ ատոմում կան էլեկտրական լիցքեր: Այս եզրակացության համոզիչ ապացույցը 1896թ. ֆրանսիացի ֆիզիկոս Ա.Բեկերելի կողմից բնական ռադիոակտիվության հայտնաբերումն էր, երբ որոշ նյութեր ինքնաբերաբար արձակում էին դրական և բացասական լիցքերով մասնիկներ:

1897թ. անգլիացի գիտնական Ջ.Թոմսոնը նոսր գազերում էլեկտրական պարպման, ջերմաէլեկտրոնային առաքման և ֆոտոէֆեկտի փորձարարական ուսումնասիրությունների արդյունքում համոզիչ ձևով ցույց տվեց, որ գազերով էլեկտրական հոսանք անցնելիս, նյութը տաքացնելիս կամ այն ուլտրամանուշակագույն ճառագայթներով լուսավորելիս կանկացած քիմիական տարրի ատոմից պոկվում են բացարձակապես միատեսակ, բացասական լիցք ունեցող մասնիկներ: Այդ մասնիկները կոչվեցին էլեկտրոններ: Էլեկտրոնի հայտնագործման համար Ջ.Թոմսոնը 1906թ. արժանացավ Նոբելյան մրցանակի:

1903թ. Ջ.Թոմսոնն առաջարկեց ատոմի առաջին մոդելը (նկ. 183): Ըստ **Թոմսոնի մոդելի**՝ ատոմը դրական լիցքով հավասարաչափ լիցքավորված գունդ է, որում գտնվում են էլեկտրոնները (չամիչով կարկանդակի մոդել): Ելնելով պինդ մարմնում ատոմների հեռավորության բնութագրական արժեքից՝ Թոմսոնն ատոմի շառավղի համար ստացավ 10^{-10} մ մոտավոր արժեքը: Ըստ Թոմսոնի մոդելի՝ էլեկտրոններն ատոմում գտնվում են հանգստի վիճակում, և միայն ատոմի գրգռման ժամանակ նրանք սկսում են տատանվել, ինչն էլ, դասական ֆիզիկայի օրենքների համաձայն, պատճառ է դառնում էլեկտրամագնիսական ճառագայթման:

Ռեզերֆորդի փորձերը: Է.Ռեզերֆորդն իր առջև նպատակ դրեց ստուգել ատոմի Թոմսոնի մոդելի իսկությունը: Այդ ժամանակ արդեն հայտնի էր նյութերի հետազոտման α-մասնիկների ցրման եղանակը: α-մասնիկը հելիումի իոնացված (առանց էլեկտրոնների) ատոմ է, որի զանգվածը մոտ 7350 անգամ մեծ է էլեկտրոնի զանգվածից՝ $m_\alpha \approx 7350 m_e \approx 6{,}664 \cdot 10^{-27}$ կգ, իսկ լիցքը հավասար է էլեկտրոնի լիցքի բացարձակ արժեքի կրկնապատիկին՝ $q_\alpha = 2e = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Կլ:



Նկ. 183

Որպես α-մասնիկների աղբյուր Ռեզերֆորդն օգտագործեց կապարե գլանի մեջ տեղադրված ռադիումի պատրաստուկ: Նեղ ճեղքից α-մասնիկների հոսքն ընկնում էր ոսկու մի քանի միկրոն

Ջոզեֆ Ջոն Թոմսոն (1856–1940)

Անգլիացի ֆիզիկոս, աշխատանքները ճշիրված են նոսր գազերում էլեկտրական հոսանքի անցման, կաթոդային և ռենտգենյան ճառագայթների, ատոմային ֆիզիկայի ուսումնասիրման: 1897 թ. հայտնաբերել է էլեկտրոնը, 1899 թ-ին՝ ջերմաէլեկտրոնային առաքման երևույթը: Ատոմների դասական էլեկտրոնային տեսության հիմնադիրներից: Փորձնականորեն ապացուցել է ատոմների իզոտոպների գոյությունը:

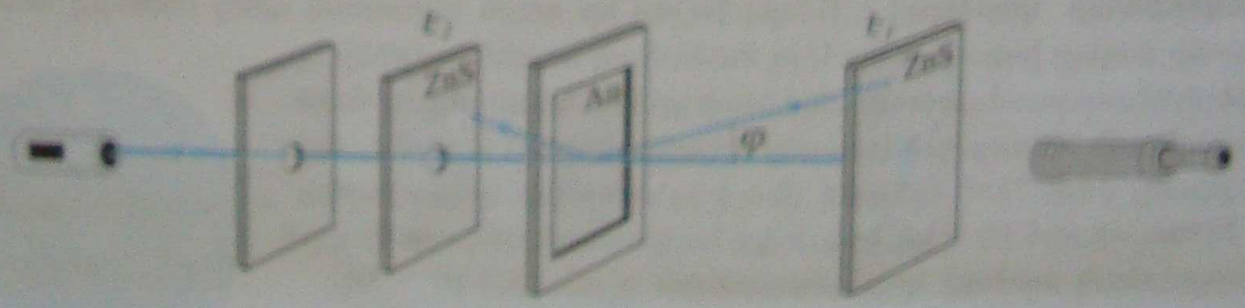
(1 ֆմ = 10^{-5} մ) հաստությամբ բիբեղի վրա: Թիթեղի ետևում դրված էր ցինկի սուլֆիդով պատված E_2 էկրանը, որին բախվելով՝ α-մասնիկն առաջ էր բերում առկայծում (նկ. 184):

Ռեզերֆորդը հանճարարարեց իր աշակերտներին՝ չափել ընկնող փնջի ուղղության նկատմամբ տարբեր անկյունների տակ ցրված α-մասնիկների քանակը: Ըստ Ռեզերֆորդի, եթե Թոմսոնի մոդելը ճիշտ էր, ապա ատոմում դրական լիցքավորված նյութը շատ նոսր պետք է լիներ (ցրիչ 20 անգամ նոսր), և α-մասնիկների փոքրիկ իր շարժման ուղղությունն էականորեն չափով չպետք է փոխեր: Իսկապես, քանի որ α-մասնիկները մոտ 7350 անգամ ծանր են էլեկտրոններից և մեծ արագությամբ ($2 \cdot 10^7$ մ/վ) ընկնում են ոսկու բիբեղի վրա, ապա էլեկտրոնները չեն կարող էականորեն փոխել դրանց հետագիծը: Պատկերավոր լինելու համար բերենք օրինակ, որքանո՞վ կխոխովի վագրերի շարժման ուղղությունը վագրուհում ճանճին բախվելիս:

α-մասնիկների հետագիծը կարող է փոխել ատոմի դրական լիցքը՝ կուլոնյան վանողության ուժի պատճառով: Հաշվարկների համաձայն՝ այդ ուժն ամենամեծ արժեքն է ընդունում գնդի (ատոմի) մակերևույթին, իսկ ատոմի կենտրոնում այն հավասար է զրոյի:

Ռեզերֆորդի փորձերը ցույց տվեցին, որ α-մասնիկների մեծամասնությունն անցնում է բիբեղի միջով՝ առանց փոխազդելու նրա հետ, իսկ ոչ մեծ թվով մասնիկներ շեղվում են մի քանի աստիճանով: Մեծ անկյունների տակ էկրանին հարվածում էին հազվադեպ α-մասնիկներ:

Չակնկալելով դրական արդյունք՝ Ռեզերֆորդը, այնուամենայնիվ, իր երիտասարդ աշխատակիցներից մեկին՝ Մարսդենին, հանձնարարեց երկրորդ (E_2) էկրանը տեղադրել բիբեղից առաջ և չափումներ կատարել (նկ. 184): Որքան մեծ էր նրա զարմանքը, երբ աշխատակիցը հայտնեց, որ բիբեղից ետ թռչող α-մասնիկներ է հայտնաբերել: Թոմսոնի մոդելի շրջանակներում այդ փաստը բացատրելն անհնար էր: Ռեզերֆորդի սրամիտ հանճարեղությամբ՝ դա հավասարազոր էր նրան, որ 15-դյույմանոց* արկով ծխախոտաթղթին կրակելիս արկը, թղթից անդրադարձվելով, հարվածեր կրակողին:



Նկ. 184

* 1 դյույմը մոտավորապես 2,54 սմ է:

Թոմսոն Ջոզեֆ Ջոն (1856-1940)

Անգլիացի ֆիզիկոս. աշխատանքները նվիրված են նոսր գազերում էլեկտրական հոսանքի անցման, կաթոդային և ռենտգենյան ճառագայթների, ատոմային ֆիզիկայի ուսումնասիրություններ: 1897 թ. հայտնաբերել է էլեկտրոնը, 1899 թ-ին՝ չերմոէլեկտրոնային առաքման երևույթը: Մետաղների դասական էլեկտրոնային տեսության հիմնադիրներից: Փորձնականորեն ապացուցել է ատոմների խթոտոպների գոյությունը:

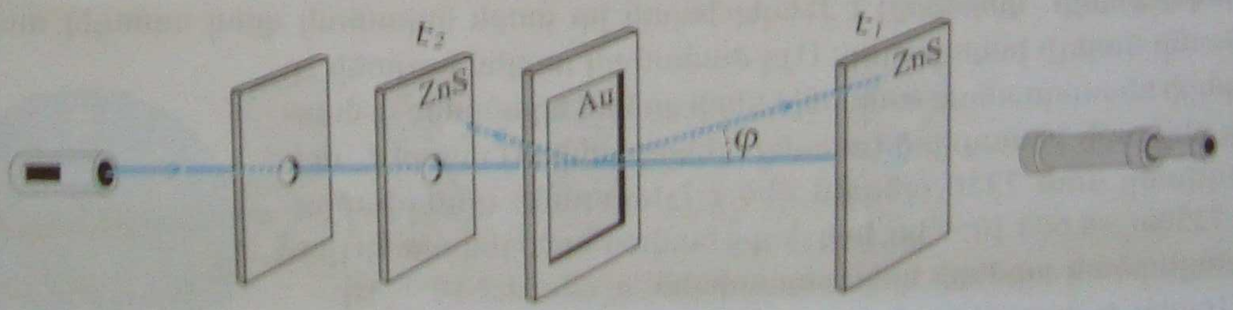
(1 մկմ = 10^{-6} մ) հաստությամբ բիբեղի վրա: Բիբեղի ետևում դրված էր կինկի սուլֆիդով պատված E_1 էկրանը, որին բախվելով α-մասնիկն առաջ էր բերում առկայծում (նկ. 184):

Ռեզերֆորդը հանճարարարեց իր աշակերտներին՝ չափել բնկնող փնջի ուժգության նկատմամբ տարբեր անկյունների տակ ցրված α-մասնիկների քանակը: Ըստ Ռեզերֆորդի, եթե Թոմսոնի մոդելը ճիշտ էր, ապա ատոմում դրական լիցքավորված նյութը շատ նոսր պետք է լիներ (ջրից 20 անգամ նոսր), և α-մասնիկների փունջն իր շարժման ուղղությունն էական չափով չպետք է փոխեր: Իսկապես, քանի որ α-մասնիկները մոտ 7350 անգամ ծանր են էլեկտրոններից և մեծ արագությամբ ($2 \cdot 10^7$ մ/վ) բնկնում են ոսկու բիբեղի վրա, ապա էլեկտրոնները չեն կարող էականորեն փոխել դրանց հետագիծը: Պատկերավոր լինելու համար բերենք օրինակ, որքանո՞վ կփոխվի վագրերի շարժման ուղղությունը վագրուհում ճանճին բախվելիս:

α-մասնիկների հետագիծը կարող է փոխել ատոմի դրական լիցքը՝ կուլոնյան վանողության ուժի պատճառով: Հաշվարկների համաձայն՝ այդ ուժն ամենամեծ արժեքն է ընդունում գնդի (ատոմի) մակերևույթին, իսկ ատոմի կենտրոնում այն հավասար է զրոյի:

Ռեզերֆորդի փորձերը ցույց տվեցին, որ α-մասնիկների մեծամասնությունն անկնում է բիբեղի միջով՝ առանց փոխազդելու նրա հետ, իսկ ոչ մեծ թվով մասնիկներ շեղվում են մի քանի աստիճանով: Մեծ անկյունների տակ էկրանին հարվածում էին հատուկենտ α-մասնիկներ:

Չակնկալելով դրական արդյունք՝ Ռեզերֆորդը, այնուամենայնիվ, իր երիտասարդ աշխատակիցներից մեկին՝ Մարսդենին, հանձնարարեց երկրորդ (E_2) էկրանը տեղադրել բիբեղից առաջ և չափումներ կատարել (նկ. 184): Որքան մեծ էր նրա զարմանքը, երբ աշխատակիցը հայտնեց, որ բիբեղից ետ թռչող α-մասնիկներ է հայտնաբերել: Թոմսոնի մոդելի շրջանակներում այդ փաստը բացատրելն անհնար էր: Ռեզերֆորդի պատկերավոր համեմատությամբ՝ դա հավասարազոր էր նրան, որ 15-դյույմանոց* արկով ծխախոտե թղթին կրակելիս արկը, թղթից անդրադառնալով, հարվածեր կրակողին:



Նկ. 184

* 1 դյույմը (ճատճաչափը) հավասար է 2,54 սմ-ի:

Ռեզերֆորդ Էռնեստ (1871–1937)

Անգլիացի մեծ ֆիզիկոս: Փորձարարական հետազոտություններով դրել է ատոմի կառուցվածքի և ռադիոակտիվության ժամանակակից տեսության հիմքերը: Նա առաջինն է ուսումնասիրել ռադիոակտիվ նյութերի ճառագայթման բաղադրությունը: Բացահայտել է ատոմի միջուկների գոյությունը և առաջինն է իրականացրել ատոմային միջուկների արհեստական փոխակերպումներ:

Այսպիսով, Ռեզերֆորդը փորձնականորեն հաստատեց, որ α-մասնիկները, բախվելով ոսկու ատոմներին, փոխում են իրենց շարժման ուղղությունը, իսկ դրանց մի փոքր մասը (մոտավորապես 2000 կրված α-մասնիկներից մեկը) ետ է շպրտվում թիթեղից, այսինքն՝ շեղվում է 90°-ից մեծ անկյունով: α-մասնիկը կարող է ետ շպրտվել՝ հանդիպելով իրենից զգալի մեծ զանգված ունեցող, տարածության փոքր մասում տեղայնացված և դրականապես լիցքավորված մասնիկի:

Փորձարարական այս արդյունքները բացատրելու համար Ռեզերֆորդը ենթադրեց, որ ատոմի համարյա ողջ զանգվածը տեղավորված է նրա կենտրոնում՝ միջուկում: α-մասնիկների մեծ մասն անարգել անցնում է ատոմի միջով. այն մասնիկները, որոնք անցնում են միջուկին շատ մոտիկ, շեղվում են իրենց նախնական ուղղությունից, և միայն միջուկին շատ մոտեցած մասնիկներն են կրվում 90°-ից մեծ անկյուններով (նկ. 185): Միջուկը լիցքավորված է դրականապես, ունի Ze լիցք, որտեղ Z-ը քիմիական տարրի կարգաթիվն է՝ Մենդելեևի պարբերական աղյուսակում նրա համարը:

Միջուկի չառավղի գնահատումը* : Միջուկի չափերը գնահատելու համար Ռեզերֆորդը կատարեց հետևյալ հաշվարկը: Թեթև α-մասնիկը, բախվելով ծանր մասնիկին (միջուկին), շեղվում է՝ չփոխելով շարժման արագության մոդուլը (առածգական բախում): Շարժման ուղղության փոփոխությունը հանգեցնում է α-մասնիկի իմպուլսի

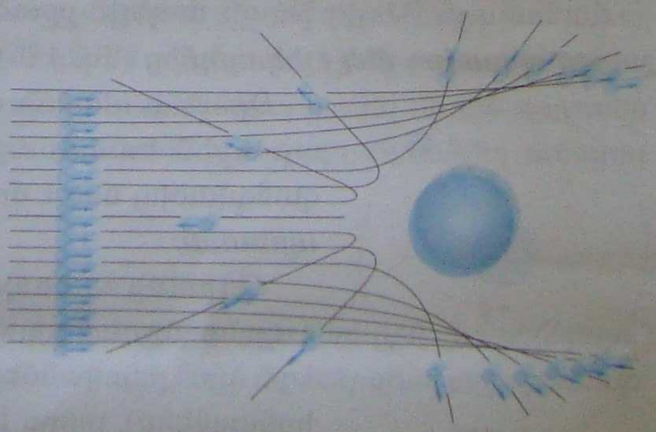
$$\Delta\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 \qquad (11.1)$$

փոփոխության, որտեղ $\vec{p}_0$-ն սկզբնական, իսկ $\vec{p}$-ն՝ վերջնական իմպուլսն է:

Իմպուլսի փոփոխությունը կլինի առավելագույնը՝ $|\Delta\vec{p}| = 2p_0$, եթե բախումը ճակատային է, այսինքն՝ բախվելուց հետո մասնիկն ունի $\vec{p} = -\vec{p}_0$ իմպուլս (կրման անկյունը հավասար է 180°-ի), և նվազագույնը ($\Delta\vec{p} = 0$), եթե մասնիկը չի փոխում իր շարժման ուղղությունը ($\vec{p} = \vec{p}_0$): Շեղման միջանկյալ անկյունների համար $|\Delta\vec{p}|$-ն փոխվում է $(0, 2p_0)$ միջակայքում:

Մյուս կողմից, իմպուլսի փոփոխությունը հավասար է α-մասնիկի և միջուկի կուլոնյան փոխազդեցության $\vec{F}$ ուժի և «բախման Δt տևողության» արտադրյալին՝

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t : \qquad (11.2)$$



Նկ. 185

«Բախման տևողությունը» մոտավորապես հավասար է այն ժամանակամիջոցին, որի ընթացքում α-մասնիկն անցնում է միջուկի $2R$ տրամագծին հավասար ճանապարհ (որի ժամանակ փոխազդեցությունն ամենամեծն է)՝

$$\Delta t = \frac{2R}{v}; \qquad (11.3)$$

Օգտվելով Կուլոնի օրենքի (1.6) բանաձևից, նրանում տեղադրելով $|q_1| = q_\alpha = 2e$, $|q_2| = q_{\text{միջուկ}} = Ze$, $r \approx R$, կստանանք՝ $F = 2kZe^2/R^2$: Այս արտահայտության և (11.2), (11.3) բանաձևերի օգնությամբ մասնիկի իմպուլսի փոփոխության մոդուլի համար կստանանք՝

$$|\Delta\vec{p}| = k\frac{4Ze^2}{vR}; \qquad (11.4)$$

Այս արտահայտությունից կարելի է գնահատել միջուկի չառավիղը, եթե ենթադրենք, որ $|\Delta\vec{p}|$-ն $|\vec{p}_0|$-ի կարգի է՝ $|\Delta\vec{p}| \sim p_0 = mv$:

Այսպիսով, միջուկի R չառավղի համար ստացվում է հետևյալ գնահատականը՝

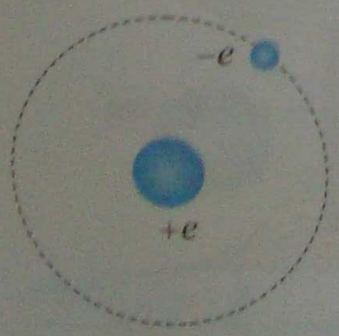
$$R = k\frac{4Ze^2}{mv^2}; \qquad (11.5)$$

Ստացված բանաձևի մեջ տեղադրելով $k = 9\cdot10^9$ Ն·մ^2/Կլ^2, $Z = 79$, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Կլ, $m = 9\cdot10^{-31}$ կգ, $v = 2\cdot10^7$ մ/վ արժեքները՝ ոսկու միջուկի չառավղի համար (11.5) բանաձևից կստանանք՝ $R = 2\cdot10^{-14}$ մ:

Ատոմի մոլորակային մոդելը: Ընդհանրացնելով փորձում ստացված արդյունքները՝ 1911 թ. Ռեզերֆորդն առաջարկեց ատոմի նոր՝ մոլորակային մոդել: Ըստ այդ մոդելի՝ ատոմի կենտրոնում գտնվում է $10^{-15} \div 10^{-14}$ մ կարգի չառավիղ ունեցող միջուկը, որտեղ կենտրոնացված է ատոմի գրեթե ողջ զանգվածը (էլեկտրոնների գումարային զանգվածն անհամեմատ փոքր է միջուկի զանգվածից) և որը լիցքավորված է դրական լիցքով: Միջուկի լիցքը որոշվում է ատոմի կարգաթվով՝ $q_{\text{միջուկ}} = Ze$: Քանի որ ատոմն էլեկտրաչեզոք է, ուրեմն ատոմում կա Z հատ էլեկտրոն, որոնք պտտվում են միջուկի չուրջը:

Ըստ Ռեզերֆորդի՝ ատոմը նման է Արեգակնային համակարգին. միջուկն Արեգակն է, իսկ էլեկտրոնները մոլորակներն են, որոնք պտտվում են Արեգակի չուրջը որոշակի ուղեծրերով: Տարբերությունն այն է, որ մոլորակները և Արեգակը փոխազդում են գրավիտացիոն ուժով, իսկ էլեկտրոնները և միջուկը՝ կուլոնյան ուժով:

Համաձայն Ռեզերֆորդի մոդելի՝ ***ջրածնի ատոմը բաղկացած է միջուկից և նրա չուրջը պտտվող մեկ էլեկտրոնից*** (նկ. 186):



Նկ. 186

Ջրածնի ատոմի միջուկն ունի էլեկտրոնի լիցքի բացարձակ արժեքին հավասար լիցք, իսկ նրա զանգվածն էլեկտրոնի զանգվածից մեծ է մոտ 1835 անգամ: Այդ մասնիկն անվանեցին ***պրոտոն:***

Հելիումի ատոմի միջուկն ունի $2e$ լիցք և մոտավորապես 4 պրոտոնի զանգված, իսկ միջուկի չուրջը պտտվում է 2 էլեկտրոն: Եթե այս էլեկտրոնները «պոկենք» հելիումի ատոմից (ատոմը լրիվ իոնացնենք), ապա կստանանք α-մասնիկ:

Մոլորակային մոդելի և դասական ֆիզիկայի հակասությունը: Ատոմի մոլորակային մոդելը դասական ֆիզիկայի օրենքների հետ գտնվում է հակասության մեջ:

Ըստ Մաքսվելի էլեկտրադինամիկայի՝ արագացմամբ շարժվող յուրաքանչյուր լիցքավորված մասնիկ պետք է էլեկտրամագնիսական ալիք ճառագայթի: Քանի որ շրջանային ուղեծրով շարժվող էլեկտրոնն օժտված է կենտրոնաձիգ արագացմամբ, ապա այն նույնպես պետք է ճառագայթի:

Ճառագայթող էլեկտրոնը, աստիճանաբար կորցնելով իր էներգիան, վերջիվերջո պետք է ընկնի միջուկի վրա: Ըստ հաշվարկների, օրինակ, ջրածնի ատոմի «կյանքի տևողությունը» 10^{-8} վ կարգի մեծություն է: Ուստի, ըստ դասական ֆիզիկայի, ատոմը պետք է լիներ անկայուն: Իրականում ատոմը խիստ կայուն համակարգ է:

Այսպիսով, դասական էլեկտրադինամիկան ի զորու չէ բացատրել կայուն ատոմի գոյության փաստը: Ինչպես և ֆոտոէֆեկտը, ատոմի կառուցվածքը կարելի է բացատրել միայն քվանտային ֆիզիկայի շրջանակներում:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի ատոմն ըստ Թոմսոնի մոդելի:*
2. *Ի՞նչ է α-մասնիկը:*
3. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի ատոմն ըստ Ռեզերֆորդի մոլորակային մոդելի:*
4. *Ի՞նչ կարգի մեծություններ են ատոմների չափերը:*
5. *Ի՞նչ կարգի մեծություններ են ատոմների միջուկների չափերը:*
6. *Պատկերե՛ք ջրածնի ատոմի մոլորակային մոդելը:*
7. *Ինչու՞ Ռեզերֆորդի փորձերում ատոմների բարդատրության մեջ մտնող էլեկտրոնները նկատելի ազդեցություն չէին թողնում α-մասնիկների ցրման վրա:*
8. *Ինչու՞ Ռեզերֆորդի փորձերում α-մասնիկները չէին կարող ցրվել մեծ անկյուններով, եթե ատոմի դրական լիցքը բաշխված լիներ ատոմի ամբողջ ծավալով:*
9. *Ինչու՞ Ռեզերֆորդի փորձերում միայն փոքր թվով α-մասնիկներ են ցրվում 90°-ից մեծ անկյուններով:*
10. *Ինչու՞ է ատոմի մոլորակային մոդելը հակասում դասական ֆիզիկայի օրենքներին:*

§ 101. Բորի կանխադրույթները: Ատոմի Բորի մոդելը

Ատոմի մոլորակային մոդելի գործնական նշանակությամբ հաջորդ քայլը կատարեց Ն. Բորը 1913թ.: Նա ենթադրեց, որ միկրոմասնիկը բնութագրող մեծությունները չեն կարող ընդունել կանխակած արժեքներ, այլ ընդունում են ընդհատ (դիսկրետ) արժեքներ: Մասնավորապես, էլեկտրոնները միջուկի շուրջը կարող են պտտվել միայն որոշակի ուղեծրերով: Այլ կերպ ասած՝ թույլատրված են միայն որոշակի շառավիղ ունեցող ուղեծրեր:

Բորը ձևակերպեց երկու կանխադրույթ:

1. Կանխադրույթ ատոմային միջուկների մասին.

Ատոմը կարող է գտնվել միայն հատուկ, ատոմային կամ քվանտային միջուկներում, որոնցից յուրաքանչյուրին համապատասխանում է որոշակի E_n էներգիա. ատոմային միջուկում ատոմը չի ճառագայթում:

2. Կանխադրույթ հաճախությունների մասին.

Ատոմը մի ստացիոնար վիճակից մյուսը թռիչքածև անցնելիս կլանում կամ ճառագայթում է էներգիայի քվանտ, որը հավասար է այդ ստացիոնար վիճակների էներգիաների տարբերությանը:

Եթե ատոմը E_n էներգիայով վիճակից անցնում է ավելի փոքր E_m էներգիայով վիճակ, ապա այն ճառագայթում է, ընդ որում, ճառագայթված ֆոտոնի էներգիան որոշվում է այդ վիճակների էներգիաների տարբերությամբ՝

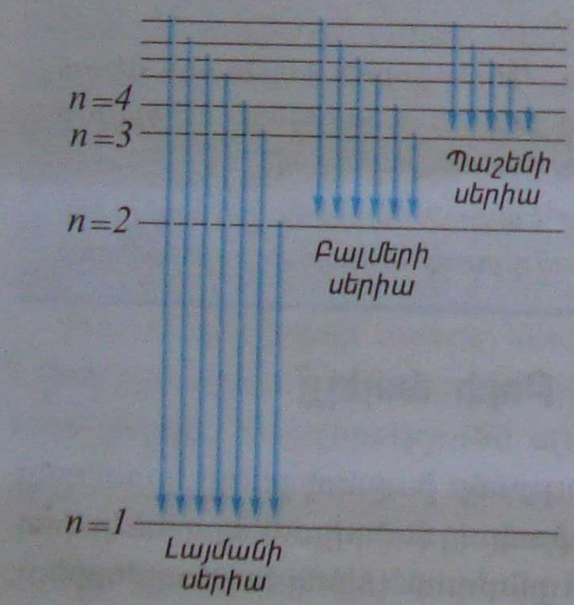
$$h\nu_{nm} = E_n - E_m : \qquad (11.6)$$

Ամենափոքր՝ E_1 էներգիայով վիճակն անվանում են ***հիմնական վիճակ***, իսկ ավելի մեծ էներգիաներով (E_2, E_3, ...) վիճակները՝ ***գրգռված վիճակներ***:

Ատոմը կարող է փոքր էներգիայով վիճակից անցնել ավելի մեծ էներգիայով վիճակ՝ կլանելով ֆոտոն, որի էներգիան տրվում է (11.6) բանաձևով:

Հիմնվելով այս կանխադրույթների վրա և օգտվելով Ռյուտոնյան մեխանիկայից ու Կուլոնի օրենքից՝ Բորը կառուցեց ջրածնի ատոմի տեսությունը (***Բորի մոդել***), որը փայլուն ձևով բացատրեց ջրածնի ատոմի գրեթե բոլոր հայտնի փորձարարական փաստերը: Ստացիոնար վիճակների E_n էներգիաները և ճառագայթման քվանտների հաճախությունները համընկան հայտնի սերիաների հետ: Նկ. 187-ում պատկերված են ջրածնի ատոմի ստացիոնար վիճակները և ճառագայթման սերիաները, որոնք առաջանում են վերին էներգիական մակարդակներից որևէ ստորին մակարդակ ատոմի անցման ժամանակ:

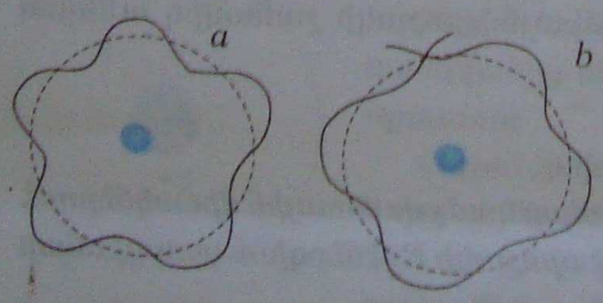
Վերին մակարդակներից առաջին ($n = 1$) մակարդակ անցումները կազմում են ***Լայմանի սերիան***, որին համապատասխանող ν_{nl} ($l = 2, 3, ..., \infty$) հաճախություններն ընկած են սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն տիրույթում: Հաջորդ սերիան (անցումները $n = 2$ մակարդակ) ընկած է տեսանելի տիրույթում և կոչվում է ***Բալմերի սերիա***: Երրորդ սերիան (անցումները $n = 3$ մակարդակ) կոչվում է ***Պաշենի սերիա***. այն ընկած է ինֆրակարմիր տիրույթում:



Նկ. 187

Ատոմի ճառագայթման այս սպեկտրներն անվանում են գծային, քանի որ դրանք ներկայացնում են առանձին գծերի համախմբեր:

Օգտագործելով դը Բրոյլի ալիք-մասնիկ երկակիության գաղափարը՝ կարող ենք բացատրել ատոմի ընդհատ էներգիական մակարդակների գոյությունը:



Նկ. 188

Էլեկտրոնները պտտվում են այն ուղեծրերով, որոնց վրա տեղավորվում են ամբողջ թվով էլեկտրոնի ալիքի երկարություններ (նկ. 188): Էլեկտրոնը կարող է գտնվել *a* ուղեծրի վրա, իսկ *b*-ի վրա՝ ոչ: Այլ կերպ ասած՝ թույլատրված են

Քոր Նիլս (1885-1962)

Դանիայի մեծ ֆիզիկոս: Ստեղծել է ատոմի առաջին քվանտային տեսությունը և հետագայում ամենաակտիվ մասնակցություն է ունեցել քվանտային մեխանիկայի հիմունքների մշակման գործում: Քորը միաժամանակ մեծ ավանդ ունի ատոմային միջուկի և միջուկային ռեակցիաների տեսության մեջ:

այն ուղեծրերը, որոնց վրա տեղավորվում է ամբողջ թվով էլեկտրոնի դը Բրոյլի ալիքի երկարություն (քվանտացման կանոն)՝

$$2\pi r_n = n\lambda\,, \qquad (11.7)$$

որտեղ n-ն ամբողջ թիվ է, իսկ r_n-ը՝ n-րդ ուղեծրի շառավիղը:

***Ուղեծրերի շառավիղների գնահատումը**:* Օգտագործելով (11.7) քվանտացման կանոնը՝ ստանանք էլեկտրոնի n-րդ ուղեծրի շառավղի բանաձևը:

Ջրածնի ատոմում շրջանային ուղեծրով պտտվող էլեկտրոնն ունի կենտրոնաձիգ արագացում, որը պայմանավորված է կուլոնյան ձգողության ուժով, ուստի ըստ Նյուտոնի II օրենքի՝

$$\frac{mv^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2}\,, \qquad (11.8)$$

որտեղ e-ն էլեկտրոնի լիցքի մոդուլն է, m-ը՝ զանգվածը, v-ն՝ արագությունը: $p = mv$ իմպուլսի միջոցով այդ հավասարումը կընդունի

$$\frac{p^2}{mr} = k\frac{e^2}{r^2} \qquad (11.9)$$

տեսքը: Մյուս կողմից, օգտագործելով դը Բրոյլի վարկածից բխող $p = h/\lambda$ բանաձևը, (11.9) առնչությունը կարող ենք գրել հետևյալ տեսքով՝

$$\frac{h^2}{m\lambda^2} = k\frac{e^2}{r}\,: \qquad (11.10)$$

Օգտագործելով (11.7) բանաձևը և համարելով $r = r_n$, կստանանք՝

$$\frac{h^2 n^2}{4\pi^2 m r_n^2} = k\frac{e^2}{r_n}\,, \qquad (11.11)$$

կամ

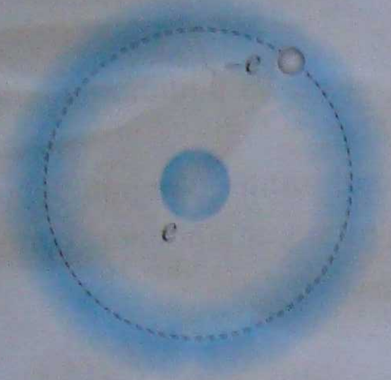
$$r_n = \frac{h^2}{kme^2}n^2\,, \qquad (11.12)$$

որտեղ $\hbar = h/2\pi$ ($\hbar$-ը կարդացվում է՝ «հաշ գծիկով»):

Ինչպես տեսնում ենք, ուղեծրի շառավիղն ընդունում է ընդհատ արժեքներ, որոնց մեծությունը, ուղեծրի համարից կախված, աճում է բառակուսային օրենքով:

$n = 1$ համարով r_1 շառավիղն անվանում են ջրածնի ատոմի Բորի շառավիղ: Գնահատենք այն: (11.12) բանաձևի մեջ տեղադրելով $\hbar = 1{,}05\cdot10^{-34}$ Ջ·վ, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Կլ, $m = 9\cdot10^{-31}$ կգ, $k = 9{,}1\cdot10^{9}$ Ն·մ^2/Կլ^2, կստանանք՝ $r_1 \approx 0{,}53\cdot10^{-10}$ մ ($r_1 \approx 0{,}53$ Ա):

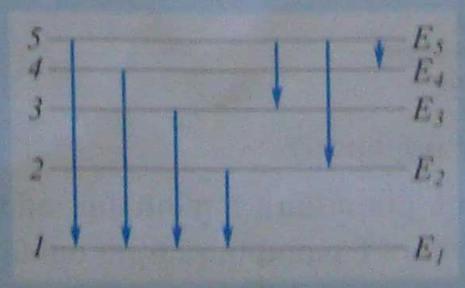
Բորի տեսության դժվարությունները: Բորի կանխադրույթները հակասում են դասական ֆիզիկային, քան որի ատոմը ստացիոնար վիճակում գոյություն պետք է ճառագայթի: Մյուս կողմից, Բորն էլեկտրոնի ուղեծրերի շառավիղները հաշվելիս օգտագործել գյուտոնյան մեխանիկան և Կուլոնի օրենքը, այսինքն՝ դասական ֆիզիկայի օրենքները: Քանի որ Բորի տեսությունը դասական և քվանտային ֆիզիկաների արհեստական միավորման արդյունք էր, ապա բնական է, որ այն չէր կարող բանակապես բացատրել բոլոր ատոմների ճառագայթման սպեկտրները: Եվ, իսկապես, հելիումի ատոմի համար բանակական արդյունքները չհամընկան փորձնական արդյունքների հետ. հնարավոր էր միայն կատարել որակական եզրակացություններ: Պատճառն այն էր, որ Բորի տեսությունը քվանտային տեսություն չէր. միայն կանխադրույթներն էին քվանտային, այն էլ՝ որևէ տեղից չէին բխում: Սակայն Բորի տեսությունը խթանեց քվանտային մեխանիկայի զարգացումը, որից Բորի կանխադրույթները բխում են արդեն որպես հետևանք: Պարզվեց, որ ատոմի մոլորակային մոդելը բավական պարզունակ է: Այսպես, եթե հնարավոր լիներ մեծ պահաժամանակով նկարել ջրածնի ատոմում էլեկտրոնի դիրքերը, ապա ուղեծրի փոխարեն կտեսնեինք տարածության մեջ «լղոզված» տիրույթ, այլ կերպ ասած՝ որոշակի հավանականությամբ էլեկտրոնը կարող է գտնվել նաև դասական ուղեծրից դուրս գտնվող կետերում (նկ. 189):



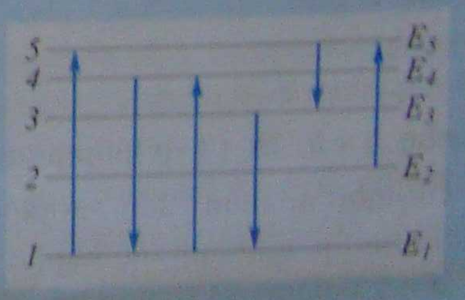
Նկ. 189

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ձևակերպե՛ք Բորի առաջին կանխադրույթը:*
2. *Ձևակերպե՛ք Բորի երկրորդ կանխադրույթը:*
3. *Ինչի՞ է հավասար ատոմի ճառագայթած ալիքի հաճախությունը, եթե ատոմը E_n էներգիայով ստացիոնար վիճակից անցնում է E_m էներգիայով ստացիոնար վիճակ:*
4. *Ատոմի ո՞ր վիճակն են անվանում «հիմնական վիճակ»:*
5. *Ինչո՞վ է Բորի առաջին կանխադրույթը հակասում դասական ֆիզիկային:*
6. *Կարո՞ղ է արդյոք լույս ճառագայթել հիմնական վիճակում գտնվող ատոմը:*
7. *Նկար ա-ում պատկերված է ատոմի էներգիական մակարդակների սխեման: Սլաքներով նշված անցումներից որի՞ դեպքում ատոմի ճառագայթված քվանտի էներգիան՝ ա) ամենամեծն է, բ) ամենափոքրն է: Պատասխանը հիմնավորե՛ք:*
8. *Նկար բ-ում պատկերված ո՞ր անցումների ժամանակ է ատոմն ազատում ֆոտոն:*
9. *Նկար բ-ում պատկերված ո՞ր անցումների ժամանակ է ատոմը կլանում ֆոտոն:*



ա



բ

10. *Ինչի՞ է հավասար ատոմի ճառագայթած լույսի ալիքի երկարությունը, եթե ատոմը E_1 էներգիայով ստացիոնար վիճակից անցնում է E_n էներգիայով ստացիոնար վիճակ:*

11. *Նկար ա-ում պատկերված է ատոմի էներգիական մակարդակների սխեման: Սլաքներով նշված անցումներից որի՞ դեպքում ատոմի առաքած ճառագայթումն ունի՝ ա) առավելագույն, բ) նվազագույն ալիքի երկարություն:*

12. *Կլանելիս ատոմն առաջին ստացիոնար վիճակից անցնում է երրորդը, իսկ սկզբնական վիճակ վերադառնալիս նախ երրորդ վիճակից անցնում է երկրորդ, այնուհետև՝ առաջին վիճակ: Գրե՛ք կլանված և ճառագայթված քվանտների էներգիաների կապն արտահայտող բանաձևը:*

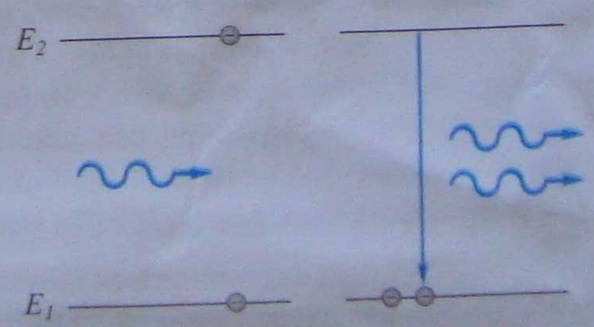
§ 102. Լազեր

Լույսի աղբյուրներ: Գոյություն ունեն լույսի բազմաթիվ աղբյուրներ՝ Արեգակ, շիկացման լամպ, բոց, ցերեկային լույսի լամպ և այլն: Բոլոր աղբյուրներում գործում է լույսի ճառագայթման նույն մեխանիզմը: Լույսը ճառագայթվում է ատոմների, մոլեկուլների կամ իոնների կողմից: Երբ ատոմը գտնվում է հիմնական (կայուն) վիճակում, այն չի ճառագայթում և կարող է երկար ժամանակ գտնվել այդ վիճակում: Սակայն էլեկտրամագնիսական ալիքների կլանման կամ ատոմների բախման հետևանքով ատոմը կարող է անցնել գրգռված (անկայուն) վիճակ, որտեղ այն կարող է գտնվել շատ կարճ ժամանակամիջոց, որն անվանում են գրգռված վիճակի կյանքի տևողություն: Այդքան ժամանակից հետո ատոմը վերադառնում է հիմնական վիճակ՝ ճառագայթելով քվանտ: Ջրածնի ատոմի համար այդ ժամանակը $10^{-8} \div 10^{-7}$ վ կարգի է:

Սովորական լամպում էլեկտրական հոսանքի ազդեցությամբ շիկացման թելիկը տաքանում է, ատոմներն անցնում են գրգռված վիճակներ և 10^{-8} վ-ի ընթացքում ճառագայթում: 100 Վտ հզորությամբ լամպը 1վ-ում ճառագայթում է մոտ $5 \cdot 10^{11}$ ֆոտոն:

Գրգռված վիճակներից հիմնական վիճակ ատոմներն անցնում են ինքնակամ, ընդորում, անցումների հետևանքով ճառագայթված ֆոտոնները (ալիքները) ունեն տարբեր հաճախություններ, փուլեր և բևեռացում: Այդպիսի ճառագայթումը կոչվում է ոչ կոհերենտ: Ինչպես գիտենք, ոչ կոհերենտ ճառագայթումը չի տալիս ինտերֆերենցային պատկեր: Նման ճառագայթումը կարելի է համեմատել «Եռանկյունի» կինոնկարում Մկրտիչների երգի հետ, երբ ամեն մեկը, առանց լսելու մյուսներին, երգում էր իր երգը:

Ստիպողական ճառագայթում: 1917 թ. Ա.Այնշտայնը ցույց տվեց, որ ***ատոմները գրգռված վիճակից հիմնական վիճակ կարող են անցնել ոչ միայն ինքնակամ, այլև ստիպողական ձևով: Ստիպողական անցում կարող է կատարվել ատոմի վրա այլ ֆոտոնի ազդեցությամբ:*** Այդ դեպքում ատոմն արձակում է նմանատիպ ֆոտոն, և ֆոտոնների թիվը դառնում է երկուսը, ընդորում՝ ֆոտոններն ունեն նույն հաճախությունը, շարժման ուղղությունը, փուլը և բևեռացումը, այսինքն՝ կոհերենտ են (նկ. 190):



Նկ. 190

Լույսի (ճառագայթման) ուժեղացումը: Ստիպողական ճառագայթման առաքման երևույթը կարելի է օգտագործել լույսը (ճառագայթումը) ուժեղացնելու համար: Այդ նպատակով

10. *Ինչի՞ է հավասար ատոմի ճառագայթած լույսի ալիքի երկարությունը, եթե ատոմը E_k էներգիայով ստացիոնար վիճակից անցնում է E_n էներգիայով ստացիոնար վիճակ:*

11. *Նկար a-ում պատկերված է ատոմի էներգիական մակարդակների սխեման: Սլաքներով նշված անցումներից որի՞ դեպքում ատոմի առաքած ճառագայթումն ունի՝ ա) առավելագույն, բ) նվազագույն ալիքի երկարություն:*

12. *Գլանելիս ատոմն առաջին ստացիոնար վիճակից անցնում է երրորդը, իսկ սկզբնական վիճակ վերադառնալիս նախ երրորդ վիճակից անցնում է երկրորդ, այնուհետև՝ առաջին վիճակ: Գրե՛ք կլանված և ճառագայթված քվանտների էներգիաների կապն արտահայտող բանաձևը:*

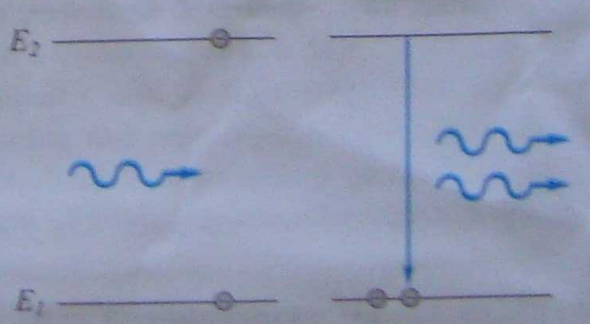
§ 102. Լազեր

Լույսի աղբյուրներ: Գոյություն ունեն լույսի բազմաթիվ աղբյուրներ՝ Արեգակ, շիկացման լամպ, բոց, կերեկային լույսի լամպ և այլն: Բոլոր աղբյուրներում գործում է լույսի ճառագայթման նույն մեխանիզմը: Լույսը ճառագայթվում է ատոմների, մոլեկուլների կամ իոնների կողմից: Երբ ատոմը գտնվում է հիմնական (կայուն) վիճակում, այն չի ճառագայթում և կարող է երկար ժամանակ գտնվել այդ վիճակում: Սակայն էլեկտրամագնիսական ալիքների կլանման կամ ատոմների բախման հետևանքով ատոմը կարող է անցնել գրգռված (անկայուն) վիճակ, որտեղ այն կարող է գտնվել շատ կարճ ժամանակամիջոց, որն անվանում են գրգռված վիճակի կյանքի տևողություն: Այդքան ժամանակից հետո ատոմը վերադառնում է հիմնական վիճակ՝ ճառագայթելով քվանտ: Ջրածնի ատոմի համար այդ ժամանակը $10^{-8} \div 10^{-7}$ վ կարգի է:

Սովորական լամպում էլեկտրական հոսանքի ազդեցությամբ շիկացման թելիկը տաքանում է, ատոմներն անցնում են գրգռված վիճակներ և 10^{-8} վ-ի ընթացքում ճառագայթում: 100 Վտ հզորությամբ լամպը 1վ-ում ճառագայթում է մոտ $5 \cdot 10^{21}$ ֆոտոն:

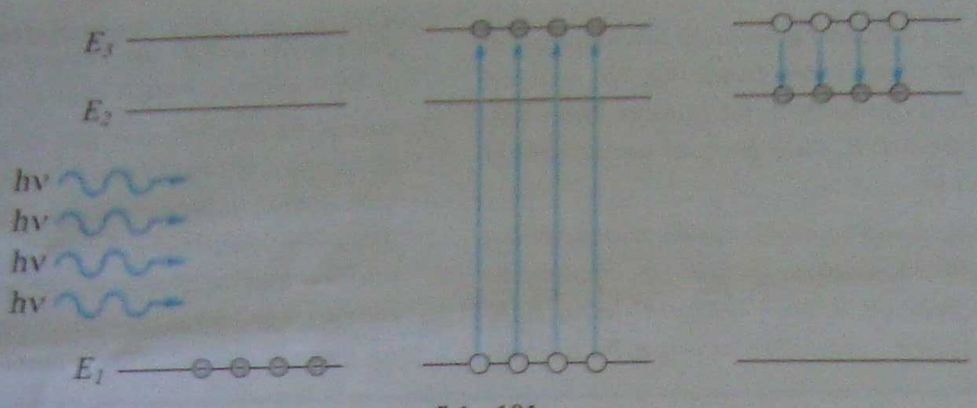
Գրգռված վիճակներից հիմնական վիճակ ատոմներն անցնում են ինքնակամ, ընդ որում, անցումների հետևանքով ճառագայթված ֆոտոնները (ալիքները) ունեն տարբեր հաճախություններ, փուլեր և բևեռացում: Այդպիսի ճառագայթումը կոչվում է ոչ կոհերենտ: Ինչպես գիտենք, ոչ կոհերենտ ճառագայթումը չի տալիս ինտերֆերենցային պատկեր: Նման ճառագայթումը կարելի է համեմատել «Եռանկյունի» կինոնկարում Մկրտիչների երգի հետ, երբ ամեն մեկը, առանց լսելու մյուսներին, երգում էր իր երգը:

Ստիպողական ճառագայթում: 1917 թ. Ա.Այնշտայնը ցույց տվեց, որ *ատոմները գրգռված վիճակից հիմնական վիճակ կարող են անցնել ոչ միայն ինքնակամ, այլև ստիպողական ճնշով: Ստիպողական անցում կարող է կատարվել ատոմի վրա այլ ֆոտոնի ազդեցությամբ:* Այդ դեպքում ատոմն արձակում է նմանատիպ ֆոտոն, և ֆոտոնների թիվը դառնում է երկուսը, ընդ որում՝ ֆոտոններն ունեն նույն հաճախությունը, շարժման ուղղությունը, փուլը և բևեռացումը, այսինքն՝ կոհերենտ են (նկ. 190):



Նկ. 190

Լույսի (ճառագայթման) ուժեղացումը: Ստիպողական ճառագայթման առաքման երևույթը կարելի է օգտագործել լույսը (ճառագայթումը) ուժեղացնելու համար: Այդ նպատակով

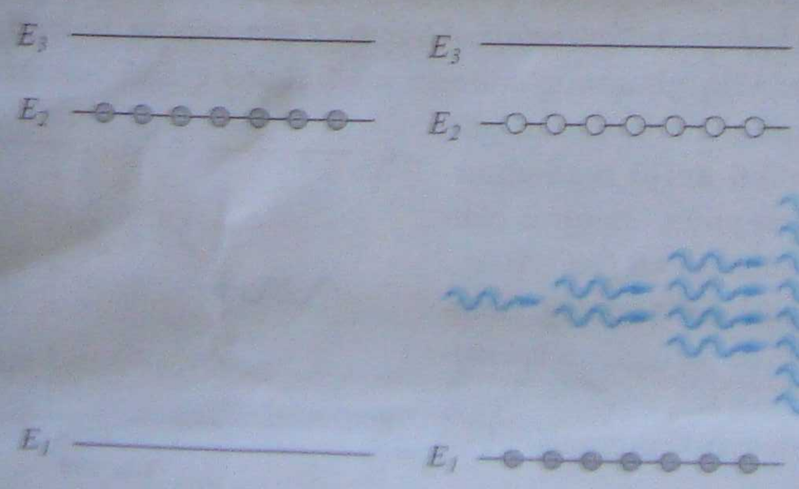


Նկ. 191

սովորաբար օգտագործում են ատոմներ, որոնց գրգռված վիճակների կյանքի տևողությունները էապես տարբերվում են միմյանցից: Կան գրգռված մակարդակներ, որտեղ ատոմները կարող են գտնվել համեմատաբար երկար ժամանակ: Այդ մակարդակներն անվանում են մետաստաբիլ (կիսակայուն): Այդպիսի մակարդակ ունի սուտակի բյուրեղում (Al_2O_3) խառնուկի ձևով առկա քրոմի ատոմը (նկ. 191): Բացի (1) հիմնական վիճակից, այն ունի երկու գրգռված վիճակ, որոնց կյանքի տևողությունները տարբերվում են 100000 անգամ՝ (3) մակարդակում այն 10^{-8} վ կարգի է, իսկ (2)-ում՝ 10^{-3} վ կարգի: Այդ պատճառով էլ (2) վիճակն անվանում են մետաստաբիլ:

Եթե լույսի ազդեցությամբ ատոմը գրգռվում է, այսինքն՝ կլանելով էներգիա՝ (1) վիճակից անցնում է (3) վիճակ, ապա մոտ 10^{-8} վ անց այն անցնում է (2) մակարդակ: E_3 էներգիայով մակարդակից E_2 էներգիայով մակարդակ անցնելիս լույս չի արձակվում: Էներգիաների այդ տարբերությունը հաղորդվում է բյուրեղին, որից բյուրեղը տաքանում է: Եթե աճընդհատ ճառագայթենք բյուրեղը, ապա մեծ քանակությամբ ատոմներ կանցնեն «բնակեցված» (2) վիճակում: Այժմ եթե $h\nu = E_2 - E_1$ էներգիայով մեկ ֆոտոն հայտնվի բյուրեղում, ապա ատոմներից մեկը հարկադրված կճառագայթի նմանատիպ ֆոտոն: Այնուհետև այդ երկու ֆոտոնը հարկադրում են ևս երկու ատոմի ճառագայթել, և այսպես շարունակ: Ֆոտոնների թիվն աճընդհատ կրկնապատկվում է: Այս պրոցեսը շղթայական բնույթ է կրում (ձնահյուսի նման աճում է): Այսպիսով, լույսն ուժեղանում է, ընդ որում, բոլոր ֆոտոններն ունենում են նույն հաճախությունը, փուլը, բևեռացումը: Ստացվում է լույսի (ճառագայթման) ուժեղ կոհերենտ փունջ (նկ. 192):

Լազեր: Ստիպողական ճառագայթման երևույթն օգտագործվեց ռուս ֆիզիկոսներ Ն.Բասովի ու Ա.Պրոխորովի և ամերիկացի ֆիզիկոս Չ.Տաունսի կողմից կոհերենտ



Նկ. 192

* Լազեր բառը առաջացել է անգլերեն «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» (լույսի ճառագայթման ստիմուլացված ճառագայթման հետևանքով ուժեղացում) արտահայտության սկզբնատառերից:

Լազերները կարող են լինել տարբեր ագրեգատային վիճակներում՝ պինդ, հեղուկ, գազային: Լազերի օգտագործման ոլորտները շատ են՝ սկսած տարբեր տեսակի չափումներից մինչև բժշկություն, տեղեկատվության տարածում, ռազմական գործեր և այլն:

Լազերների կիրառությունը: Լազերների յուրահատուկ հատկությունների շնորհիվ դրանք լայնորեն կիրառվում են տարբեր ոլորտներում:

Ինչպես գիտենք, ճառագայթման ինտենսիվությունը կախված է ալիքի երկարությունից: Ինչքան ալիքի երկարությունը փոքր է, այնքան ճառագայթման ինտենսիվությունը մեծ է: Լազերի ճառագայթման ալիքի երկարությունը շատ փոքր է, ուստի լազերի ճառագայթման ինտենսիվությունը շատ մեծ է: Լազերի ճառագայթումը կենտրոնացնելով՝ կարելի է ստանալ շատ մեծ ջերմաստիճան (մոտ 10^7 °C): Լազերի ճառագայթումը կարելի է կենտրոնացնել շատ փոքր տարածության վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տիեզերական մարմինների վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել ստորջրյա նավերի վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել ինքնաթիռների վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել հեռավոր տարածություններ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել մարդու մարմնի տարբեր մասերի վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր նյութերի վրա: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր հեղուկների մեջ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր գազերի մեջ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր պինդ մարմինների մեջ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր հեղուկների մեջ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր գազերի մեջ: Լազերի ճառագայթումը կարելի է ուղղորդել տարբեր պինդ մարմինների մեջ:

Ռուբինային լազերի կառուցվածքը հետևյալն է. պտղոց կամ ցուկի (մոտ 0,05%) տեսքով կաղ քրոմի իոններ (նկ. 193): Ռուտիլի բյուրեղի ձողի ծայրերը ենթարկվում են հատուկ մշակման, որպեսզի մեկը դառնա լրիվ անդրադարձնող, իսկ մյուսը՝ կիսաթափանցիկ: Ձողը շրջապատված է լամպով, որը ճառագայթման աղբյուր է հանդիսանում: Լամպի և ձողի միջև տեղադրվում է ջրի շերտ, որը կլանում է լամպի ճառագայթման ինֆրակարմիր մասը, որպեսզի ձողը չտաքանա

Ասկարյան Գուրգեն Աշոտի (1928-1997)

Հայ ֆիզիկոս, ոչ գծային օպտիկայի, պլազմայի ֆիզիկայի և քվանտային էլեկտրոնիկայի բնագավառի խոշորագույն մասնագետ: Հայտնագործել է էլեկտրամագնիսական և ձայնային ճառագայթների ինքնակիզակետման երևույթը (1962):

Լազերի մյուս կիրառությունը կապված է նրա փնջի զուգահեռության հետ: Լազերային լույսի փունջը համարյա չի տարամիտվում: Երկրից արձակված այդպիսի կետային փունջը Լուսնի վրա տալիս է ընդամենը 3 կմ տրամագծով բիծ: Լազերային ճառագայթով գեոդեզիայում կատարում են հեռավորությունների, ինքնաթիռների, նավերի, հրթիռների արագությունների չափումներ և շարժման ուղղությունների շտկումներ: Լազերի միջոցով չափել են Երկիր-Լուսին հեռավորությունը 10 մ-ի ճշգրտությամբ: Լազերի ճառագայթի միջոցով կարելի է կատարել վիրահատություններ, օրինակ՝ «եռակցել» աչքի հատակի շերտազատված յանցաթաղանթը, կտրել-հեռացնել ուռուցքներ:

Լազերի կիրառության երրորդ ուղղությունը կապված է նրա մեներանգության հետ: Լազերային ճառագայթումը կարելի է մոդուլել և օգտագործել որպես կապի միջոց: Լազերներն օգտագործում են ձայնի, հեռուստատեսային պատկերների բարձրորակ տեսագրությունների ժամանակ:

Լազերային ֆիզիկայի և ոչ գծային օպտիկայի բնագավառում մեծ ներդրում ունեն հայ գիտնականները:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչո՞վ է լազերի ճառագայթումը տարբերվում շիկացման լամպի ճառագայթումից:*
2. *Թվարկե՛ք լազերների հիմնական կիրառությունները:*

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. *Ատոմում էլեկտրոնը հինգերորդ էներգիական մակարդակից երրորդն անցնելիս ճառագայթվում է $3\cdot10^{-7}$ մ երկարությամբ ալիք, իսկ երրորդից առաջինն անցնելիս՝ 10^{-7} մ երկարությամբ ալիք: Ի՞նչ երկարությամբ ալիք կճառագայթվի, երբ էլեկտրոնը հինգերորդ մակարդակից անցնի առաջինը:*

Լուծում: Հինգերորդ մակարդակից առաջին մակարդակ էլեկտրոնի անցման ժամանակ առաքվում է E_{51} էներգիայով ֆոտոն, որի ալիքի երկարությունը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$E_{51} = E_5 - E_1 = E_5 - E_3 + E_3 - E_1 = E_{53} + E_{31}$$

կամ

$$\frac{hc}{\lambda_{51}} = \frac{hc}{\lambda_{53}} + \frac{hc}{\lambda_{31}} = hc\left(\frac{1}{\lambda_{53}} + \frac{1}{\lambda_{31}}\right).$$

որտեղից՝

$$\lambda_{51} = \frac{\lambda_{31}\lambda_{53}}{\lambda_{31} + \lambda_{53}} = 7{,}5\cdot10^{-8}\ \text{մ}:$$

2. *Որոշել էլեկտրոնի v արագությունը և a արագացումը ջրածնի ատոմի Բորի առաջին ուղեծրում, որի շառավիղը՝ $r \approx 5 \cdot 10^{-11}$ մ:*

Լուծում: Էլեկտրոնի արագացումը կարելի է գտնել Նյուտոնի երկրորդ օրենքից՝

$$ma = k\frac{e^2}{r^2}, \quad a = k\frac{e^2}{mr^2} \approx 10^{23} \text{ մ/վ}^2,$$

իսկ արագությունը՝ կենտրոնաձիգ արագացման բանաձևից՝ $v = \sqrt{ar} \approx 2{,}2 \cdot 10^6$ մ/վ:

Խնդիրներ

1. *Ինչի՞ է հավասար α-մասնիկի և անագի միջուկի ամենափոքր հեռավորությունը կենտրոնական հարվածի դեպքում: α-մասնիկի արագությունը հավասար է 10^7 մ/վ, զանգվածը՝ $6{,}7 \cdot 10^{-27}$ կգ: Անագի միջուկը համարել անշարժ:*
2. *Ջրածնի ատոմում էլեկտրոնի ուղեծրի շառավիղը $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ մ է: Ինչի՞ է հավասար այդ ուղեծրով շարժվող էլեկտրոնի կենտրոնաձիգ արագացումը:*
3. *Երբ ջրածնի ատոմում էլեկտրոնը երրորդ ստացիոնար վիճակից անցնում է երկրորդին, ատոմն արձակում է $3 \cdot 10^{-19}$ Ջ էներգիայով ֆոտոն: Որոշել սպեկտրի այդ գծի ալիքի երկարությունը:*
4. *Երբ էլեկտրոնը ջրածնի ատոմում երրորդ էներգիական մակարդակից անցնում է առաջին մակարդակ, ատոմն առաքում է 10^{-7} մ երկարությամբ ալիք, իսկ երկրորդից առաջինին անցնելիս՝ $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ մ երկարությամբ ալիք: Գտնել, թե ինչ երկարությամբ ալիք է առաքվում, երբ էլեկտրոնը երրորդ էներգիական մակարդակից անցնում է երկրորդին:*
5. *Սնդիկի գոլորշիներն էլեկտրոններով ճառագայթահարելիս սնդիկի ատոմի էներգիան մեծանում է 4,9 Էվ-ով: Ինչքա՞ն է այն ճառագայթման ալիքի երկարությունը, որն ատոմներն արձակում են, երբ անցնում են հիմնական վիճակ:*

ԳԼՈՒԽ 11-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ռեզերֆորդը, ուսումնասիրելով α-մասնիկների ցրումը նյութի կողմից, հայտնաբերեց ատոմի միջուկի գոյությունը: Ատոմի դրական լիցքը և համարյա ամբողջ զանգվածը կենտրոնացված են ատոմի միջուկում, որի չափերն են $10^{-15} \div 10^{-14}$ մ: Ատոմի միջուկի լիցքը հավասար է Մենդելեևի պարբերական համակարգում տարրի կարգաթվի և էլեկտրոնի լիցքի բացարձակ արժեքի արտադրյալին:
2. Փորձերի հիման վրա Ռեզերֆորդն առաջարկեց ատոմի մոլորակային մոդելը՝ էլեկտրոնները պտտվում են միջուկի շուրջը, ինչպես մոլորակները՝ Արեգակի շուրջը:
3. Ատոմային համակարգը կարող է գտնվել միայն հատուկ՝ ստացիոնար վիճակներում, որոնցից յուրաքանչյուրին համապատասխանում է որոշակի E_n էներգիա: Ատոմը ճառագայթում կամ կլանում է՝ մի ստացիոնար վիճակից մյուսն անցնելիս: Արձակված կամ կլանված ֆոտոնի էներգիան հավասար է ստացիոնար վիճակների էներգիաների տարբերությանը՝ $h\nu_{mn} = E_n - E_m$:
4. Լազերը կոհերենտ լույսի (ճառագայթման) հզոր աղբյուր է:

12 ԱՏՈՄԻ ՄԻՋՈՒԿԻ ՖԻԶԻԿԱ

§ 103. Միջուկի կառուցվածքը

Պրոտոնի հայտնագործումը: Ռեզերֆորդի փորձերը հանգեցրին ատոմի մոլորակային մոդելին, որի համաձայն ատոմը բաղկացած է միջուկից և նրա շուրջը պտտվող էլեկտրոններից: Միջուկը լիցքավորված է դրականապես, ունի Ze լիցք, որտեղ Z-ն ատոմի կարգաթիվն է, e-ն՝ տարրական լիցքի մոդուլը: Միջուկի չափերը շատ փոքր են՝ $10^{-15} \div 10^{-14}$ մ կարգի: Ամենափոքր կարգաթիվ ունեցող ատոմը ջրածնի ատոմն է, որի միջուկը՝ պրոտոնը, ունի e լիցք, և նրա զանգվածը մոտ 1836 անգամ մեծ է էլեկտրոնի զանգվածից:

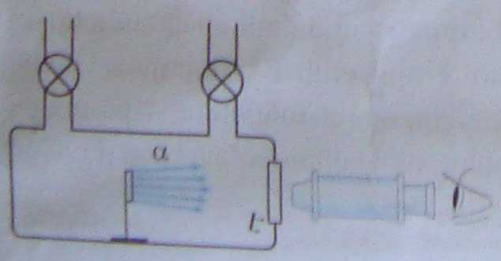
Պրոտոնը հայտնագործեց Ռեզերֆորդը 1919 թ. ազոտի ատոմները α-մասնիկներով ռմբակոծելիս: Ռեզերֆորդն օգտագործում էր խցիկ, որը լցված էր օդով, և որտեղ տեղադրված էր α-մասնիկների աղբյուր (նկ. 194): Խցիկի մի պատին հարմարեցված էր էկրան, որը լիցքավորված մասնիկների հարվածներից լուսարձակում էր:

Ռեզերֆորդը α-մասնիկների աղբյուրն էկրանից հեռացրեց այնքան, որ էկրանը դադարեց լուսարձակել: Լուսարձակման դադարի պատճառն օդի առկայությունն էր խցիկում, ինչի հետևանքով α-մասնիկները կլանվում էին օդում՝ չհասնելով էկրանին: Այնուհետև նա օդի փոխարեն խցիկը լցրեց ազոտով, որից հետո էկրանը նորից լուսարձակեց: Ռեզերֆորդը ենթադրեց, որ α-մասնիկները, ռմբակոծելով ազոտի ատոմները, նրանից պոկում են լիցքավորված մասնիկներ, որոնց հարվածներից էկրանը լուսարձակում է:

Ռեզերֆորդը փորձը կրկնեց՝ որպես գրանցող սարք օգտագործելով Վիլսոնի խցիկը: Խցիկում, ազոտից բացի, կային նաև ջրի և սպիրտի հագեցած գոլորշիներ: Երբ Վիլսոնի խցիկ էր մտնում α-մասնիկ, այն իր շարժման հետագծի երկայնքով իոնացնում էր ազոտի մոլեկուլները, որոնց վրա ջրի գոլորշին խտանում էր՝ առաջացնելով մառախուղատիպ հետք (տրեկ): Տրեկը նման է մբնոլորտի վերին շերտերում ռեակտիվ ինքնաթիռի թողած հետքին:

α-մասնիկների տրեկների լուսանկարները ցույց տվեցին, որ կան տրեկներ, որոնք երկատվում են (հետագիծը վերածվում է երկու գծի, նկ. 195):

Դա նշանակում է, որ այդ կետում α-մասնիկի և ազոտի հանդիպումից առաջանում է նոր մասնիկ: Երբ Վիլսոնի խցիկը տեղադրեցին մագնիսական դաշտում, նոր մասնիկը շեղվեց այնպես, ինչպես կշեղվեր e լիցք ունեցող մասնիկը: Հետագծի կորությամբ որոշելով e/m հարաբերությունը և գիտենալով e լիցքը, կարելի էր որոշել անհայտ մասնիկի զանգվածը: Դնահատումները ցույց տվեցին, որ այդ մասնիկն ունի ջրածնի միջուկի զանգվածին հավասար զանգված:

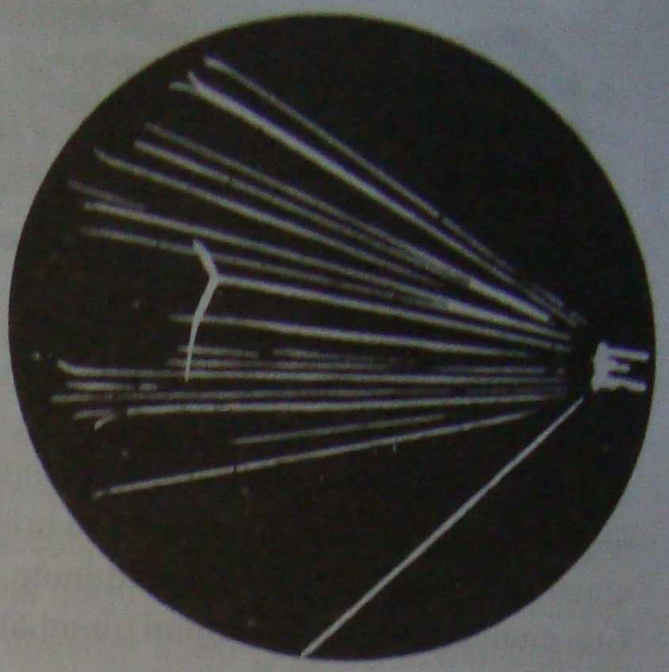


Նկ. 194

Այսպես ապացուցվեց, որ այդ նոր մասնիկը ***պրոտոնն*** է, որն առաջանում է

$$ {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \qquad (12.1) $$

ռեակցիայի արդյունքում, որտեղ միջուկները նշանակված են հետևյալ կերպ՝ ${}^{M}_{Z}\mathrm{X}$, որտեղ X-ը քիմիական տարրի նշանն է, Z-ը՝ կարգաթիվը, որը կա՛մ է տալիս տարրի տեղը Մենդելեևի պարբերական աղյուսակում, M-ը՝ ատոմի զանգվածը՝ արտահայտված զանգվածի ատոմային միավորով (հիշեցնենք, որ 1 զ.ա.մ.-ը հավասար է ածխածնի ատոմի զանգվածի 1/12 մասին. 1 զ.ա.մ. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ կգ):

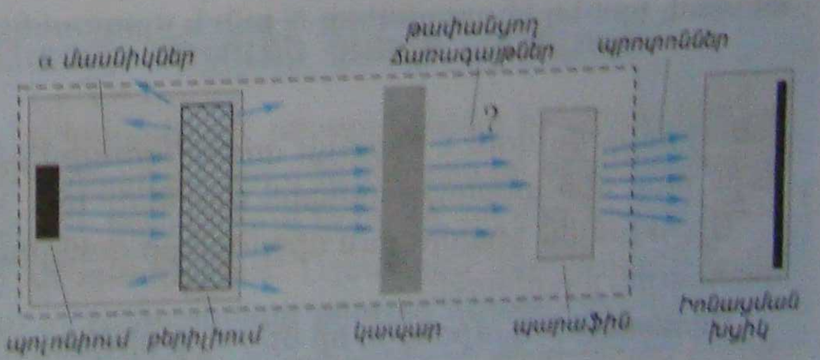


Նկ. 195

Այսպիսով՝ ապացուցվեց, որ ատոմի միջուկի դրական լիցքը պայմանավորված է պրոտոններով: Անհասկանալի մնաց այն հարցը, թե ինչպես կարող են դրական լիցքավորված պրոտոնները կազմել կայուն միջուկ, չէ՞ որ պրոտոնները վանում են միմյանց էլեկտրաստատիկ փոխազդեցության ուժերով: Բացի այդ, կար մեկ դժվարություն ևս: Իրոք, եթե միջուկը բաղկացած լիներ միայն պրոտոններից, ապա նրա Zm_p զանգվածը պետք է ատոմի Mm_p զանգվածից տարբերվեր չնչին՝ էլեկտրոնների Zm_e զանգվածի չափով, այնինչ M-ը միշտ զգալիորեն մեծ է Z-ից (միայն ջրածնի ատոմի դեպքում $M = Z = 1$):

Սկզբնական շրջանում ֆիզիկոսները ենթադրեցին, որ միջուկում պրոտոնների հետ գտնվում են նաև էլեկտրոններ. օրինակ՝ α-մասնիկը բաղկացած է 4 պրոտոնից և 2 էլեկտրոնից՝ 2e գումարային լիցքով: Սակայն միջուկի այս մոդելն արագորեն հերքվեց, քանի որ, ըստ քվանտային մեխանիկայի, էլեկտրոնը չի կարող գտնվել միջուկի ներսում որպես նրա բաղկացուցիչ մաս:

Նեյտրոնի հայտնագործումը: α-մասնիկներով ռմբակոծելով ֆտորի, նատրիումի, ալյումինի և այլ տարրերի ատոմներ՝ ֆիզիկոսները հայտնաբերեցին միջուկների այլ փոխակերպումներ, որոնք նորից ուղեկցվում էին պրոտոնների արձակմամբ: Սակայն հերթական փորձերից մեկի ժամանակ, երբ բիրախ էր ընտրվել բերիլիումը, ի հայտ եկան մասնիկներ, որոնք, ի տարբերություն պրոտոնների, մեծ ներթափանցման ունակություն ունեին: Դրանք առանց դժվարության անցնում էին կապարի 10÷20 սմ հաստությամբ բիրեղի միջով: Երբ այդ մասնիկների ճանապարհին տեղադրեցին պարաֆինի բիրեղ, պարզվեց, որ նրանից դուրս են թռչում մեծ քանակությամբ պրոտոններ (նկ. 196): Պրոտոնների էներգիաների չափումները ցույց տվեցին, որ անհայտ մասնիկի զանգվածը մոտ է պրոտոնի զանգվածին: Պարզվեց նաև, որ այդ մասնիկներն անմիջականորեն գազը չեն իոնացնում:



Նկ. 196

Համբարձումյան Վիկտոր Համազասպի (1908–1996)

Հայ խոշորագույն աստղաֆիզիկոս, ֆիզիկոս և մաթեմատիկոս, ատոմային միջուկի պրոտոն-նեյտրոնային մոդելի համահեղինակ: Աշխատանքները վերաբերում են տեսական աստղաֆիզիկայի, աստղերի և գալակտիկաների էվոլյուցիայի և այլ հարցերի: Բյուրականի աստղադիտարանի հիմնադիր (1946 թ.):

Այս փաստերի հիման վրա 1932 թ. անգլիացի ֆիզիկոս՝ Ռեզերֆորդի աշխատակից Ջ.Չեդվիկը ենթադրեց, որ այդ մասնիկները նոր տարրական մասնիկներ են: Քանի որ դրանք գազը չեն իոնացնում և ներթափանցման մեծ ունակություն ունեն, ապա դրանք չեզոք մասնիկներ են: Չեդվիկը գնահատեց այդ մասնիկի զանգվածը. այն փոքր-ինչ մեծ էր պրոտոնի զանգվածից: Նոր մասնիկը կոչվեց ***նեյտրոն*** (լատիներեն «նեուտեր»՝ ոչ այս, ոչ այն, այսինքն՝ չեզոք բառից):

Պարզվեց, որ ազատ նեյտրոնն ունի կյանքի վերջավոր տևողություն, որը հավասար է մոտ 15 ր-ի: Միջին հաշվով այդքան ժամանակ «ապրելուց» հետո նեյտրոնը վերածվում է պրոտոնի, էլեկտրոնի և հականեյտրինոյի (նեյտրինոյի մասին կխոսվի գլուխ 13-ում):

Այսպիսով, բերիլիումի միջուկների հետ α-մասնիկների բախման ժամանակ տեղի է ունենում հետևյալ ռեակցիան՝

$$ {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{9}_{4}\mathrm{Be} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}n , \qquad (12.2) $$

որտեղ ${}^{1}_{0}n$-ը նեյտրոնի գրառումն է: Ստորին թիվը ցույց է տալիս էլեկտրական լիցքը, որը տվյալ դեպքում զրո է, իսկ վերին թիվը նեյտրոնի հարաբերական զանգվածն է:

Միջուկի կառուցվածքը: Նեյտրոնի հայտնագործումից անմիջապես հետո տրվեց միջուկի կառուցվածքը: Ատոմի միջուկը կազմված է պրոտոններից և նեյտրոններից, որոնց անվանում են նուկլոն (լատիներեն «նուկլեուս»՝ կորիզ, միջուկ բառից, այսինքն՝ միջուկի մասնիկ): Պրոտոնների թիվը միջուկում հավասար է ատոմի կարգաթվին՝ Z-ին: Միջուկի պրոտոն-նեյտրոնային մոդելի հեղինակներ են հայ գիտնական Վ.Համբարձումյանը, ռուս ֆիզիկոս Դ.Իվանենկոն և գերմանացի ֆիզիկոս Վ.Հայզենբերգը:

Քանի որ պրոտոնի և նեյտրոնի զանգվածները գրեթե հավասար են՝ $m_n \approx m_p$, ապա միջուկի զանգվածը կարելի է ներկայացնել

$$ M_{միջ} \approx Zm_p + Nm_n \approx Am_p \qquad (12.3) $$

տեսքով, որտեղ նեյտրոնների N թվի և պրոտոնների Z թվի գումարը՝

$$ A = Z + N \qquad (12.4) $$

մեծությունը կոչվում է միջուկի ***զանգվածային թիվ***: Զանգվածային թիվը հավասար է M-ին մոտ մեծ ամբողջ արժեքին (օրինակ՝ եթե $M = 35{,}2$, ապա $A = 36$):

Միջուկային ֆիզիկայում միջուկների զանգվածները ներկայացվում են զանգվածի ատոմային միավորով:

Իզոտոպներ: Հայտնի է, որ մի շարք քիմիական տարրերի հարաբերական ատոմային զանգվածները տարբերվում են ամբողջ թվերից: Օրինակ՝ քլորի հարաբերական

Հայզենբերգ Վեռներ Կառլ (1901-1976)

Գերմանացի ֆիզիկոս-տեսաբան, քվանտային մեխանիկայի ստեղծողներից: Ձևակերպել է անորոշությունների առնչությունը, որը սահմանափակում է դասական գաղափարների կիրառումը միկրոօբյեկտներ նկարագրելիս: 1932 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

ատոմային զանգվածը հավասար է 35,5-ի, իսկ բարիումինը՝ 137,34-ի: Պարզվում է, որ միևնույն քիմիական տարրի ատոմները կարող են ունենալ տարբեր զանգվածներ: Օրինակ՝ քլորի ($Z = 17$) ատոմներն ունեն 35 և 37 հարաբերական զանգվածներ, ուրանի ատոմները ($Z = 92$)՝ 228-ից մինչև 239 հարաբերական զանգվածներ: Այս ատոմներն ունեն նույն քիմիական հատկությունները, այսինքն՝ էլեկտրոնային նույն կառուցվածքը, միջուկի նույն լիցքերը և, հետևաբար, հավասար քանակությամբ պրոտոններ: ***Նույն քիմիական հատկություններն ունեցող, բայց տարբեր զանգվածներով ատոմներն անվանում են իզոտոպներ*** (Մենդելեևի պարբերական աղյուսակի նույն տեղում գտնվող ատոմներ):

Միևնույն տարրի իզոտոպները միմյանցից տարբերվում են միջուկներում պարունակվող նեյտրոնների թվով:

Ջրածնի ատոմն ունի 3 իզոտոպ (1,2,3 հարաբերական ատոմային զանգվածներով): 2 հարաբերական ատոմային զանգվածով իզոտոպը կոչվում է ***դեյտերիում:*** Այն կայուն ատոմ է, բայց բնության մեջ հանդիպում է փոքր քանակությամբ. ջրածնի 4500 ատոմին բաժին է ընկնում դեյտերիումի 1 ատոմ: Ջրածնի 3 հարաբերական ատոմային զանգվածով իզոտոպը կոչվում է ***տրիտիում:*** Այն կայուն չէ և տրոհվում է՝ արձակելով էլեկտրոններ:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ մասնիկներից է կազմված ատոմի միջուկը:*
2. *Ինչի՞ է հավասար N նեյտրոնից և Z պրոտոնից կազմված ատոմի միջուկի լիցքը:*
3. *Ո՞ր մեծություններն են անվանում միջուկի զանգվածային թիվ:*
4. *Ինչո՞վ են տարբերվում իրարից նույն տարրի իզոտոպները:*
5. *Ո՞ր մասնիկներն են անվանում նուկլոններ:*
6. *Քանի՞ պրոտոն և քանի՞ նեյտրոն կա քվածծնի $^{17}_{8}O$ իզոտոպում:*

§ 104. Միջուկային ուժեր: Ատոմի միջուկի կապի էներգիան

Միջուկային ուժեր: Ատոմի միջուկը կազմված է պրոտոններից և նեյտրոններից՝ նուկլոններից: Պրոտոնները կուլոնյան ուժերով վանվում են միմյանցից, մինչդեռ ատոմի միջուկները շատ կայուն են, ինչի մասին է խոսում այն փաստը, որ մեզ շրջապատող իրերի հետ երկար ժամանակ ոչինչ չի պատահում: Այստեղից եզրակացվում է, որ նուկլոնները պետք է փոխազդեն նաև ոչ էլեկտրական բնույթի ձգողության ուժերով, որոնք նուկլոնները պահում են միջուկում: Այդ ուժերն անվանենք ***միջուկային ուժեր:*** Միջուկային ուժերն ունեն հետևյալ հատկությունները՝

1. *Լիցքային անկախություն:* Սա նշանակում է, որ երկու պրոտոնի միջուկային փոխազդեցության ուժի մոդուլը (f_{pp}) հավասար է երկու նեյտրոնի (f_{nn}) կամ պրոտոնի ու նեյտրոնի փոխազդեցության (f_{np}) ուժի մոդուլին՝

$$f_{pp} = f_{nn} = f_{np}: \tag{12.5}$$

2. *Կարճազդեցություն:* Միջուկային ուժերը գործում են շատ փոքր՝ $r \le 2 \cdot 10^{-15}$ մ հեռավորությունների վրա: Նշված տիրույթում միջուկային ուժերը մոտ 100 անգամ գերազանցում են կուլոնյան փոխազդեցության ուժերը: Սակայն արդեն 10^{-14} մ կարգի հեռավորությունների վրա դրանք գործնականորեն բացակայում են:

3. *Հագեցալու հատկություն*: Սա նշանակում է, որ միջուկում յուրաքանչյուր նուկլոն գործնականում փոխազդում է միայն իր անմիջական շրջապատում գտնվող նուկլոնների հետ:

Միջուկային ուժերի մոդել է առաջարկել ճապոնացի ֆիզիկոս Հ. Յուկավան: Ըստ այդ մոդելի՝ նուկլոնները միմյանց հետ կապվում են (փոխազդում են) նոր տիպի մասնիկների միջոցով, որոնք կոչվում են ***π-մեզոններ***: Մեզոնը տարրական մասնիկ է, ունի էլեկտրոնի զանգվածից մի քանի հարյուր անգամ մեծ զանգված (π-մեզոնը հայտնագործվել է 1932 թ.): Պատկերավոր լինելու համար ասենք, որ նուկլոնները և նրանց փոխազդեցությունն ապահովող մեզոնը կարելի է համեմատել թենիսիստների և թենիսի գնդակի հետ: Թենիսիստները միմյանց հետ խաղում են («փոխազդում են»)՝ միմյանց փոխանցելով թենիսի գնդակը: Նույն կերպ նուկլոնները «միմյանց մեզոններ են փոխանցում»: Յուկավան գտավ նաև միջուկային ուժերի կախվածությունը նուկլոնների հեռավորությունից, որը փոքր հեռավորությունների վրա արագ աճում է, իսկ մեծ հեռավորությունների վրա՝ շատ արագ նվազում:

Ատոմի միջուկի կապի էներգիան: Քանի որ նուկլոններն իրար մոտ պահող միջուկային ուժերը մոտ 100 անգամ մեծ են կուլոնյան ուժերից, ապա միջուկից նեյտրոն կամ պրոտոն պոկելու համար անհրաժեշտ է որոշակի էներգիա ծախսել: ***Այն նվազագույն էներգիան, որն անհրաժեշտ է միջուկն առանձին (իրար հետ չփոխազդող) պրոտոնների և նեյտրոնների բաժանելու համար, կոչվում է միջուկի կապի էներգիա:***

Միջուկի կապի էներգիան տեսականորեն որոշել հնարավոր չէ, քանի որ դեռևս կառուցված չէ միջուկային ուժերի ավարտուն տեսությունը: Սակայն այն կարելի է հաշվել՝ օգտագործելով էներգիայի և զանգվածի կապն արտահայտող Այնշտայնի բանաձևը՝

$$E = mc^2: \tag{12.6}$$

Ատոմային միջուկների զանգվածների ճշգրիտ չափումները ցույց են տալիս, որ ցանկացած տարրի միջուկի հանգստի զանգվածը միշտ փոքր է այդ միջուկը կազմող պրոտոնների և նեյտրոնների հանգստի զանգվածների գումարից՝

$$M_u < Zm_p + Nm_n: \tag{12.7}$$

Դա նշանակում է, որ միջուկի հանգստի էներգիան փոքր է նրա բաղադրամասերի հանգստի էներգիաների գումարից՝

$$M_u c^2 < (Zm_p + Nm_n)c^2, \tag{12.8}$$

ուստի միջուկն առանձին նուկլոնների բաժանելու համար նրան պետք է հաղորդել

$$\Delta E = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{միջ}})c^2 = \Delta mc^2 \qquad (12.9)$$

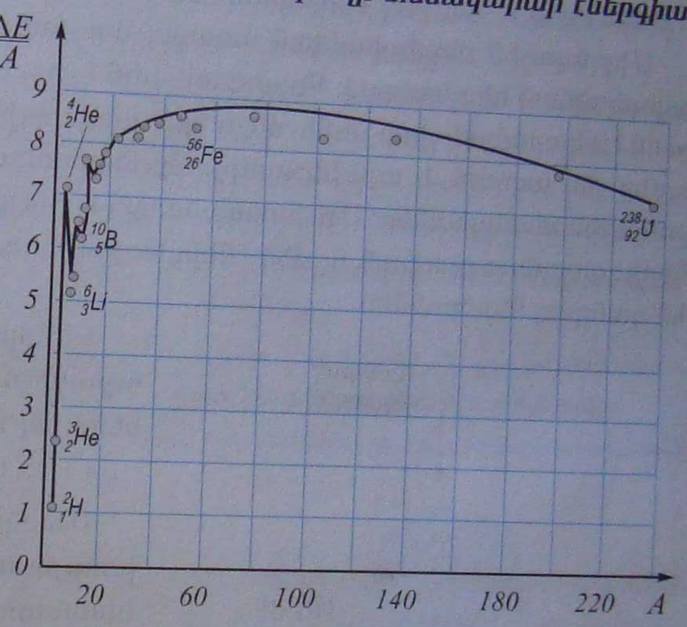
էներգիա: Այս բանաձևում առկա

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{միջ}} \qquad (12.10)$$

մեծությունը կոչվում է միջուկի ***զանգվածի պակասորդ***: Հելիումի ատոմի համար Δm = = 0,03 զ.ա.մ.:

Հարց է առաջանում, իսկ ի՞նչ է լինում այդ լրացույցիչ էներգիան, երբ նուկլոնները միանում են՝ կազմելով միջուկ: Նուկլոնները միջուկային ուժերի ազդեցության շնորհիվ արագ մոտենում են միմյանց՝ ճառագայթելով γ-քվանտներ, որոնք էլ տանում են այդ «հավելուրդային» էներգիան, որը, համաձայն էներգիայի պահպանման օրենքի, հավասար է ΔE կապի էներգիային:

Նուկլոնների թվի մեծացմանը զուգընթաց միջուկի կապի էներգիան մեծանում է: Միջուկի կայունության տեսակետից հետաքրքիր է իմանալ մեկ նուկլոնին բաժին ընկնող կապի էներգիան՝ $\Delta E/A$ մեծությունը, որն անվանում են ***կապի տեսակարար էներգիա:*** Դա այն էներգիան է, որն անհրաժեշտ է միջուկից մեկ նուկլոն հեռացնելու համար: Նկ. 197-ում պատկերված է կապի տեսակարար էներգիայի կախումը զանգվածային թվից: Զանգվածային թվի մեծացման հետ այն արագ աճում է՝ հասնելով ≈ 8,6 ՄէՎ առավելագույն արժեքի, այնուհետև դանդաղ նվազում է: Ամենամեծ կապի տեսակարար էներգիաներ ունեն 50-ից 60 զանգվածային թիվ ունեցող միջուկները, որոնք ամենակայուն են:



Նկ. 197

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր մասնիկներն են փոխազդում միջուկային ուժերով:*
2. *Ինչու՞ միջուկի պրոտոնների էլեկտրական վանողության ուժերի շնորհիվ միջուկը չի տրոհվում:*
3. *Ի՞նչ կարգի հեռավորությունների վրա են էական դառնում միջուկային ուժերը:*
4. *Ինչո՞վ են տարբերվում իրարից միջուկային և էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության ուժերը:*
5. *Ո՞ր էներգիան են անվանում միջուկի կապի էներգիա:*
6. *Ի՞նչն են անվանում զանգվածի պակասորդ:*
7. *Տալ միջուկի կապի տեսակարար էներգիայի սահմանումը:*
8. *Ինչպե՞ս է կապված միջուկի կայունությունը կապի տեսակարար էներգիայի հետ:*
9. *Գրե՛ք Z պրոտոնից և N նեյտրոնից կազմված m զանգվածով միջուկի կապի տեսակարար էներգիայի արտահայտությունը:*

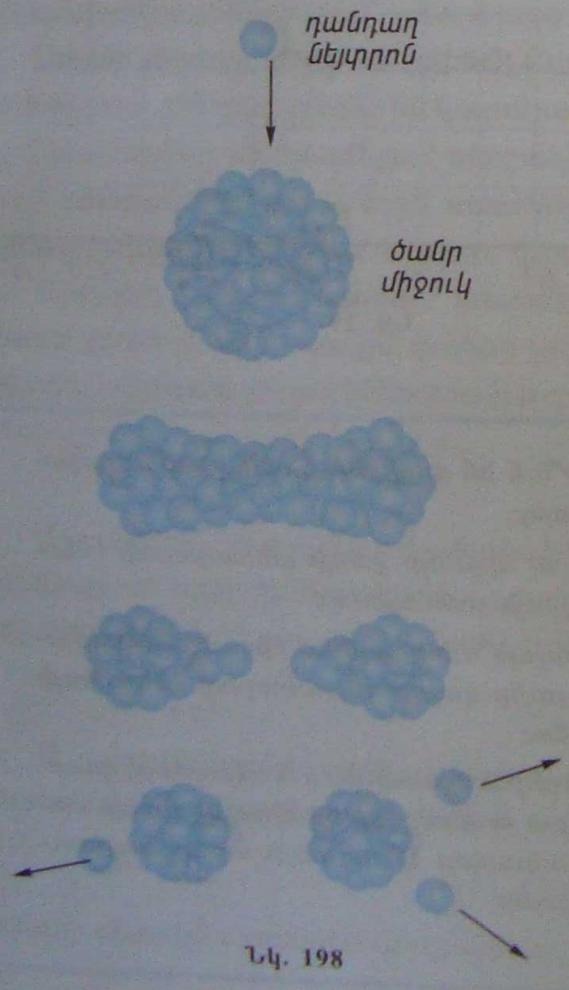
§ 105. Միջուկային ռեակցիաներ

Ատոմային միջուկների փոխակերպումներն անվանում են միջուկային ռեակցիաներ: Միջուկային ռեակցիաների ընթացքում պահպանվում են էներգիան, իմպուլսը, էլեկտրական լիցքը և նուկլոնների թիվը: Հիշենք նեյտրոնի հայտնագործման հայտնի (12.2) ռեակցիան: Այդ ռեակցիայում պահպանվում են էլեկտրական լիցքը և նուկլոնների թիվը: Իրոք, մինչև ռեակցիան $q_1 = 2e + 4e = 6e$, $N_1 = 4 + 9 = 13$ և ռեակցիայից հետո $q_2 = 6e + 0e = 6e$, $N_2 = 12 + 1 = 13$:

Այս ռեակցիան կոչվում է արհեստական, քանի որ բերիլիումը փոխակերպվում է ածխածնի α-մասնիկներով ռմբակոծման արդյունքում: α-մասնիկները, ընդհուպ մոտենալով միջուկին, ընկնում են միջուկային ուժերի ազդեցության ոլորտ և կլանվում միջուկի կողմից. առաջանում է նոր միջուկ, իսկ ավելորդ նեյտրոնը դուրս է թռչում նոր առաջացած ածխածնի միջուկից:

(12.2) ռեակցիայի արդյունքում զանգվածը փոփոխվում է $\Delta m = m_2 - m_1 =$ $= 0{,}0061$ զ.ա.մ.-ով, իսկ էներգիան՝ $\Delta E = \Delta mc^2 = 5{,}68$ ՄէՎ-ով:

Միջուկային ռեակցիաներն առավել արդյունավետ ընթանում են նեյտրոններով ռմբակոծման հետևանքով: Պատճառն այն է, որ, ի տարբերություն α-մասնիկի, նեյտրոնն էլեկտրական լիցք չունի. միջուկին մոտենալիս նրա վրա կուլոնյան վանողության ուժեր չեն ազդում, և այն հեշտությամբ ներթափանցում է միջուկ՝ առաջ բերելով միջուկային ռեակցիաներ: Այս հանգամանքն էլ թույլ է տալիս, որ միջուկային ռեակցիաների պատճառ դառնան ոչ մեծ էներգիայով նեյտրոնները, որոնց հաճախ անվանում են դանդաղ նեյտրոններ:



Նկ. 198

Նեյտրոնների մասնակցությամբ ընթացող ուրանի միջուկի ճեղքման ռեակցիաներից է հետևյալ ռեակցիան՝

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{140}_{58}\mathrm{Ce} + {}^{94}_{40}\mathrm{Zr} + 6e + 2\,{}^{1}_{0}n : \quad (12.11)$$

Ռեակցիայի ժամանակ զանգվածի փոփոխությունը կազմում է $\Delta m = 0{,}223$ զ.ա.մ., որին համապատասխանում է $\Delta E = 208$ ՄէՎ անջատված էներգիա: Այս էներգիան ահռելի է միջուկային մասշտաբներով: Էներգիայի մեծությունը պատկերացնելու համար ենթադրենք, որ միջուկային ռեակցիայի ընթացքում ճեղքվել է 1 գ ուրան: Այս դեպքում անջատված էներգիան կկազմի մոտ 20 ՄՎտ·ժ, որը համարժեք է 2,5 տոննա քարածխի այրումից առաջացած էներգիային:

Ցերիումի (Ce) և կիրկոնիումի (Zr) միջուկների փոխարեն ուրանի ճեղքումից առաջանում են նաև այլ միջուկներ: Կա 40 նմանատիպ ռեակցիա, ուստի հաճախ նոր առաջացող միջուկները պարզապես անվանում են բեկորներ: Բեկորներն ուրանի միջուկի տրոհումից

հետո շարժվում են մեծ՝ մոտ 0,1c արագությամբ, շնորհիվ բեկոր-միջուկների կուլոնյան վանողության ուժերի:

Նեյտրոնի կլանումից հետո ուրանի գնդաձև միջուկը ձգվում է ջրի կաթիլի նման, մինչև երկու մասի բաժանվելը: Քանի որ ծանր միջուկներում (մասնավորապես ուրանում) նեյտրոնների թվի հարաբերությունը պրոտոնների թվին, A-ից կախված, աճում է, ապա միջուկի տրոհման ժամանակ առաջանում է 2 կամ 3 հավելուրդային նեյտրոն, որոնք արձակվում են որպես ազատ նեյտրոններ (նկ. 198):

Սինթեզի ռեակցիա: Արեգակի ընդերքում նույնպես տեղի են ունենում միջուկային ռեակցիաներ: Արեգակը հիմնականում կազմված է ջրածնից, որն «այրվում» է՝ վերածվելով հելիումի՝

$$4\,{}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2e^{+} + 2h\nu : \qquad (12.12)$$

Այս ռեակցիան կոչվում է ***սինթեզի ռեակցիա***, որովհետև թեթև նյութի՝ ջրածնի ատոմները միանալով վերածվում են ավելի ծանր նյութի՝ հելիումի ատոմների:

Ռեակցիայի արդյունքում անջատվում է 28 ՄէՎ էներգիա և 2 ֆոտոն, որով էլ պայմանավորված է Արեգակի և մյուս աստղերի լուսատվությունը:

Ինչպես տեսնում ենք, սինթեզի ժամանակ նույնպես արձակվում է հսկայական էներգիա, որի կիրառության մասին կխոսենք ստորև:

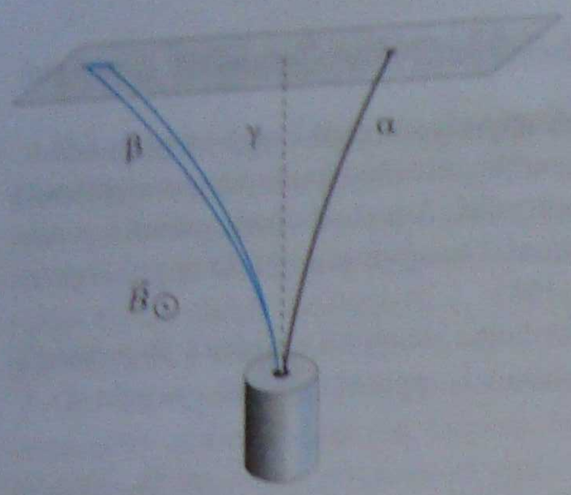
Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ռեակցիաներն են կոչվում միջուկային:*
2. *Ի՞նչ ռեակցիաների են մասնակցում ծանր միջուկները:*
3. *Ի՞նչ ռեակցիաների են մասնակցում թեթև միջուկները:*
4. *Գրե՛ք* ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + ?$ *միջուկային ռեակցիայի երկրորդ արգասիքը:*

§ 106. Ռադիոակտիվություն

Ռադիոակտիվության հայտնագործումը: Միջուկի բարդ կառուցվածքն ապացուցող երևույթներից է ռադիոակտիվությունը, որը 1896 թ. հայտնագործել է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Անրի Բեկերելը: Ֆիզիկայի մի շարք երևույթների նման այս երևույթը նույնպես հայտնագործվել է պատահականորեն: Բեկերելն ուսումնասիրում էր Արեգակի ճառագայթման ազդեցությունն ուրանի աղերի վրա: Ամպամած մի օր սեղանի դարակում փակ վիճակում լուսանկարչական թիթեղի վրա նա թողեց ուրանի աղով պատված պղնձե խաչ: Երկու օր անց, երևակելով թիթեղը, Բեկերելը թիթեղի վրա հայտնաբերեց սևացում՝ խաչի տեսքով: Դա նշանակում էր, որ ուրանի աղերն ինքնակամ ճառագայթում են, ինչի հետևանքով էլ լուսանկարչական թիթեղը սևացել էր: Հետագայում Կյուրի ամուսինները հայտնաբերեցին ճառագայթող այլ նյութեր՝ թորիում, պոլոնիում, ռադիում և այլն: ***Ինքնակամ ճառագայթման երևույթն անվանվեց ռադիոակտիվություն:*** Պարզվեց, որ $Z \geq 82$ կարգաթվով տարրերի միջուկները ռադիոակտիվ են:

Ռադիոակտիվության երևույթն ուղեկցվում է էներգիայի անջատմամբ: 1 գ ռադիումը 1 ժ-ում ճառագայթում է մոտ 600 Ջ էներգիա: Այս փաստն առաջին անգամ 1903 թ. նկատել են Պ.Կյուրին և Ա.Լաբորտը. ռադիումի աղի կտորը միշտ ավելի բարձր ջերմաստիճան ունի, քան շրջապատի մարմինները:



Նկ. 199

Ճառագայթների փոխակերպումների արդյունքում ի հայտ է գալիս երեք տիպի ճառագայթում՝ α-ճառագայթում, β-ճառագայթում և γ-ճառագայթում, որոնք կարելի է իրարից բաժանել արտաքին մագնիսական կամ էլեկտրական դաշտի օգնությամբ (նկ. 199):

Ալֆա-ճառագայթում: Որոշ ծանր միջուկներ ճառագայթում են հելիումի միջուկ՝ կազմված 2 պրոտոնից և 2 նեյտրոնից: Պատմականորեն նման ռեակցիան կոչվել է α-տրոհում, իսկ ճառագայթումը՝ α-ճառագայթում: α-մասնիկն իր $2e$ լիցքի շնորհիվ իոնացնում է ճանապարհին հանդիպող գազի ատոմները և, հետևաբար, մի քանի սանտիմետրի վրա կլանվում է: α-մասնիկի հնքնությունը պարզել է Ռեզերֆորդը, որը, ատոմնաճրելով մագնիսական դաշտում α-մասնիկի շեղումը և առանձին փորձում չափելով նրա լիցքը, ցույց տվեց, որ այն հելիումի լրիվ իոնացված ատոմ է, այսինքն՝ հելիումի միջուկ:

Երբ միջուկը ճառագայթում է α-մասնիկ, նրա կարգաթիվը նվազում է 2-ով, իսկ զանգվածային թիվը՝ 4-ով: α-տրոհման օրինակ է ռադիում-226-ի տրոհումը, որն ատոմնաճրվել է Կյուրի ամուսինների կողմից՝

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}: \qquad (12.13)$$

α-տրոհման պատճառն այն է, որ ծանր միջուկներն ունեն ավելի մեծ չափեր, քան թեթևները: Քանի որ միջուկային ուժերը կարճագրող են, ապա մեծ միջուկների սահմանի վրա (10^{-14} մ) դրանք շատ փոքր են, այնինչ պրոտոնների կուլոնյան փոխազդեցության հեռագրո ուժերը գործում են գրեթե առանց փոփոխության: Արդյունքում մեծանում է միջուկի էներգիան, և այն դառնում է անկայուն: Միջուկի անկայունության հանգեցնում նաև նեյտրոնների և պրոտոնների թվի տարբերության մեծանալը, քանի որ նեյտրոնի հանգստի զանգվածն ավելի մեծ է, քան պրոտոնինը: Միջուկից դուրս գալուց հետո α-մասնիկն արագանում է միջուկի էլեկտրաստատիկ դաշտում՝ ձեռք բերելով 4÷9 ՄէՎ կինետիկ էներգիա: Երբ տրոհվելուց հետո փոխակերպված միջուկը նորից լինում է ռադիոակտիվ, ապա այն շարունակում է տրոհվել մինչև կայուն միջուկի փոխակերպվելը:

Բետա-ճառագայթում: Միջուկի փոխակերպումն այլ միջուկի կարող է ուղեկցվել էլեկտրոնի արձակմամբ: Պատմականորեն այդ ռեակցիան կոչվել է β-տրոհում, իսկ ճառագայթումը՝ β-ճառագայթում: β-մասնիկի հնքնությունը պարզել է Բեկերելը, որը, ատոմնաճրելով մագնիսական դաշտում նրա շեղումը, ցույց տվեց, որ այն մեծ արագությամբ շարժվող էլեկտրոն է:

Առաջին հայացքից զարմանալի է, թե միջուկն ինչպես կարող է էլեկտրոն արձակել, եթե միջուկում էլեկտրոններ չկան: Սակայն պարզվում է, որ որոշակի պայմաններում միջուկի ներսում նեյտրոնը տրոհվում է պրոտոնի, էլեկտրոնի և հականեյտրինոյի: Վերջիններս դուրս են թռչում միջուկից: Այս տրոհումը տեղի է ունենում մեծ թվով նեյտրոններ պարունակող միջուկներում: Հականեյտրինոն չեզոք տարրական մասնիկ է, հետևաբար, այն ունի ներթափանցման մեծ ունակություն:

Բնության մեջ β-ճառագայթման հաճախ հանդիպող ռեակցիա է ածխածնի իզոտոպի վերածումը ազոտի՝

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^{-} + \tilde{\nu}, \qquad (12.14)$$

որտեղ $\tilde{\nu}$-ն հականեյտրինոն է:

Ծանր ռադիոակտիվ միջուկները տրոհվում են՝ ճառագայթելով α- կամ β-մասնիկ, հերթագայելով միմյանց: Եթե α-տրոհման արդյունքում զանգվածային թիվը փոքրանում է 4-ով, կարգաթիվը՝ 2-ով, ապա β-տրոհումը կարգաթիվը մեծացնում է 1-ով, իսկ զանգվածային թիվը չի փոխվում: Այդ ռեակցիաների շարքը շարունակվում է այնքան, մինչև ստացվում է կապարի կամ բիսմուտի (Bi) որևէ կայուն իզոտոպ: Այդպիսի շարքերն անվանում են ***ռադիոակտիվ ընտանիքներ***: Նրանցից մեկը սկսվում է $^{238}_{92}U$-ից և ավարտվում կապարի $^{206}_{82}Pb$ իզոտոպով:

Գամմա-ճառագայթում: Երբ միջուկները ճառագայթում են α- կամ β-մասնիկներ, նրանց մոտ հաճախ մնում է էներգիայի ավելցուկ: Ատոմի համանմանությամբ ասում են, որ միջուկը գտնվում է որոշակի կյանքի տևողությամբ գրգռված վիճակում:

Որոշ ժամանակ անց գրգռված միջուկը ճառագայթում է: Այդ ճառագայթումը հայտնագործվել է ֆրանսիացի ֆիզիկոս Պ.Վիլարի կողմից 1900 թ. և կոչվել γ-ճառագայթում: Ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ γ-ճառագայթները կարճ՝ $\lambda \sim 10^{-13} \div 10^{-10}$ մ երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ են: Ռենտգենյան ճառագայթների նման γ-ճառագայթները նույնպես բյուրեղային ցանցի վրա դիֆրակցիայի երևույթ են առաջացնում:

γ-ճառագայթները, ունենալով ալիքի փոքր երկարություն, հստակորեն դրսևորում են մասնիկային հատկություններ (այստեղից էլ նրանց «γ-քվանտներ» անվանումը): γ-ճառագայթմանը բնորոշ է մեծ ներթափանցման ունակությունը, որը կախված է ինչպես γ-քվանտների էներգիայից, այնպես էլ կլանող միջավայրի տեսակից: Օրինակ՝ 5 ՄէՎ էներգիայով γ-քվանտների հոսքը 10 անգամ փոքրանում է 36 սմ հաստությամբ բետոնի շերտով կամ 4,7 սմ հաստությամբ կապարի շերտով անցնելիս:

γ-ճառագայթման հետևանքով չի փոխվում ո՛չ միջուկի լիցքը և ո՛չ էլ զանգվածը. այն գրգռված վիճակից անցնում է հիմնական վիճակ՝

$$(^{A}_{Z}X)^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma, \qquad (12.15)$$

* նշանը ցույց է տալիս, որ միջուկը գտնվում է գրգռված վիճակում:

Դրա հետ մեկտեղ կան ռադիոակտիվ տրոհումներ, որոնց ընթացքում ճառագայթվում են β-մասնիկներ (էլեկտրոններ) և γ-քվանտներ: Օրինակ՝

$$^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + e^{-} + \gamma: \qquad (12.16)$$

Ռադիոակտիվ տրոհման օրենքը ***:** Միջավայրում միջուկների փոխակերպումները տեղի են ունենում միմյանցից անկախ, սակայն երբեք չի կարելի կռահել, թե երբ կտրոհվի այս կամ այն միջուկը: ***Այն ժամանակամիջոցը, որի ընթացքում տրոհվում է ռադիոակտիվ միջուկների կեսը, կոչվում է կիսատրոհման պարբերություն:***

Տրոհման հետևանքով ռադիոակտիվ միջուկների քանակը նյութում անընդհատ նվազում է, որի պատճառով ընկնում է նյութի ակտիվությունը՝ մեկ վայրկյանում տրոհումների թիվը: Ռադոնի հետ աշխատող ֆիզիկոսները պարզել են, որ ամեն րոպեից հետո նրա

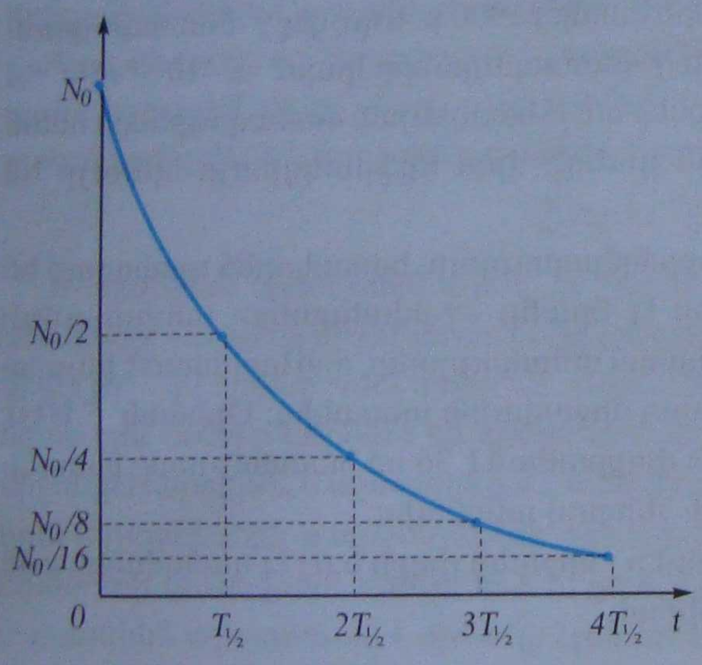
ճառագայթումը փոքրանում է 2 անգամ: Անհամեմատ դանդաղ է նվազում թորիումի, ռադիումի և, հատկապես, ուրանի ակտիվությունը:

Կիսատրոհման պարբերության համար ընդունված է $T_{1/2}$ նշանակումը: $T_{1/2}$ ժամանակ անց ռադիոակտիվ նյութի ակտիվությունը երկու անգամ փոքրանում է:

Այժմ գտնենք ռադիոակտիվ տրոհման օրենքը: Ժամանակի սկզբնական պահին ($t = 0$) ռադիոակտիվ միջուկների թիվը նշանակենք N_0-ով: $T_{1/2}$ ժամանակ անց դրանց թիվը կդառնա $N_0/2$: Երկու անգամ նույն ժամանակամիջոցից հետո ռադիոակտիվ միջուկների թիվը կդառնա $N_0/4 = N_0/2^2$, այնուհետև՝ $N_0/2^3$ և այլն: $t = nT_{1/2}$ ժամանակամիջոցում տրոհված միջուկների թիվը՝

$$N = \frac{N_0}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}, \qquad (12.17)$$

որն իրենից ներկայացնում է ռադիոակտիվ տրոհման օրենքը: Նկ.200-ում գրաֆիկորեն պատկերված է ռադիոակտիվ տրոհման պրոցեսում միջուկների թվի կախումը ժամանակից:



Նկ. 200

$T_{1/2}$ կիսատրոհման պարբերությունը ռադիոակտիվ տրոհման արագությունը բնութագրող հիմնական մեծությունն է: Զանազան նյութերի համար այն տարբեր է: Ռադոնի համար $T_{1/2}$=1ր, ռադիումի համար՝ 1600 տարի, իսկ ուրանի համար՝ 4,5 միլիարդ տարի: Այս պատճառով ռադոնը շատ արագ է «հանգչում», իսկ ուրանը «մշտապես» ռադիոակտիվ վիճակում է:

Պարզ է, որ որքան փոքր է կիսատրոհման պարբերությունը, այնքան շատ միջուկներ են տրոհվում միավոր ժամանակում, և այնքան նյութը ռադիոակտիվ է: Այդ պատճառով էլ որպես մեծ ակտիվություն ունեցող, բայց և շուտ «չհանգող» ռադիոակտիվ աղբյուր Ռեզերֆորդն օգտագործում էր ռադիումը:

Միավորների միջազգային համակարգում ռադիոակտիվությունը չափվում է բեկերելով (Բկ): 1 Բկ-ն այն ակտիվությունն է, որը համապատասխանում է 1վ-ում 1 տրոհմանը:

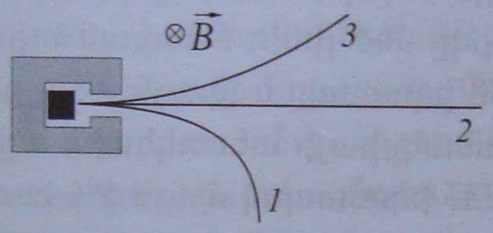
Արհեստական ռադիոակտիվություն: Այն նյութերը, որոնք առանց արտաքին գործոնների ազդեցության ճառագայթում են α-, β- կամ γ-մասնիկներ, կոչվում են բնական ռադիոակտիվ նյութեր: Այդպիսիք են՝ ռադոնը, թորիումը, ռադիումը, ուրանը և այլն:

Հայտնի է նաև արհեստական ռադիոակտիվության երևույթը, երբ որոշ ոչ ռադիոակտիվ նյութեր, օրինակ՝ α-մասնիկներով ռմբակոծելիս, վերածվում են նոր ռադիոակտիվ նյութի: Նման մի ռեակցիա է ալյումինի վերածումը ֆոսֆորի իզոտոպի՝

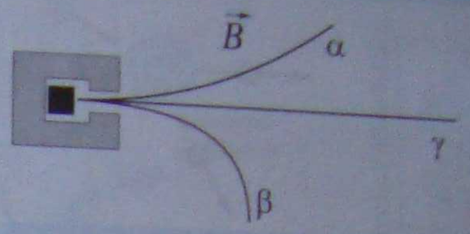
$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}n: \qquad (12.18)$$

Հարցեր և առաջադրանքներ

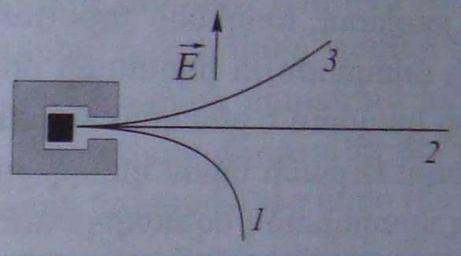
1. *Ո՞ր երևույթն են անվանում ռադիոակտիվություն:*
2. *Ի՞նչ է α-մասնիկը:*
3. *Ի՞նչ է β-մասնիկը:*
4. *Ի՞նչ է γ-մասնիկը:*
5. *α-, β-, γ- մասնիկներից ո՞րն է օժտված նյութում առավելագույն ներթափանցման ունակությամբ:*
6. *Ի՞նչ է կիսատրոհման պարբերությունը:*
7. *Ե՞րբ է դիտվում արհեստական ռադիոակտիվությունը:*
8. *Համասեռ մագնիսական դաշտում ռադիումի ռադիոակտիվ ճառագայթումը բաժանվում է երեք մասի: Նշե՛ք, թե դրանցից որն է α-, որը՝ β- և որը՝ γ-ճառագայթումը, եթե մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորն ուղղված է դիտորդից դեպի նկարի հարթությունը:*



9. *Ո՞ր կողմ պետք է ուղղված լինի մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի վեկտորը, որպեսզի դիտվեն α-, β-, γ-ճառագայթումների այնպիսի շեղումներ, ինչպիսիք պատկերված են նկարում:*



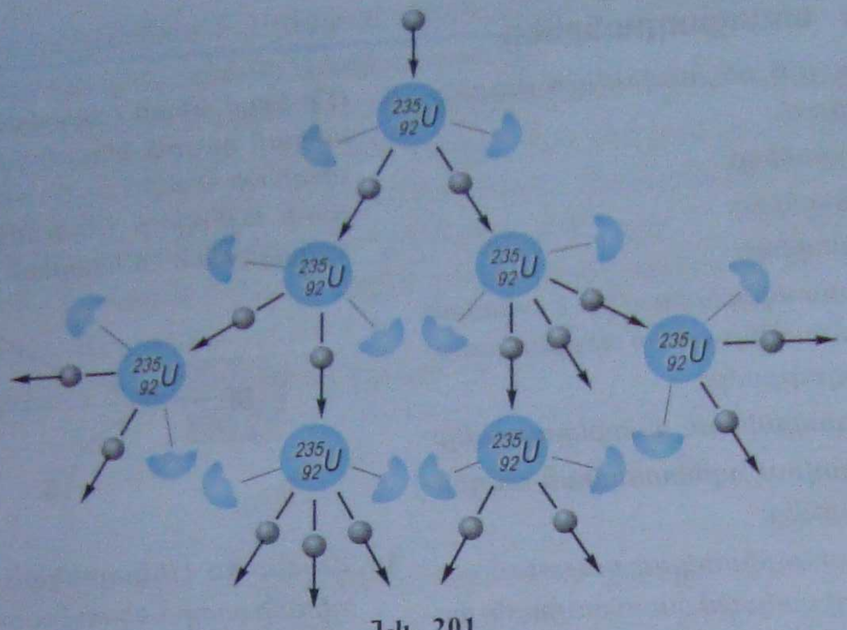
10. *Համասեռ էլեկտրական դաշտում ռադիումի ռադիոակտիվ ճառագայթումը բաժանվում է երեք մասի: Նշե՛ք, թե դրանցից որն է α-, որը՝ β- և որը՝ γ- ճառագայթումը, եթե էլեկտրական դաշտի $\vec{E}$ լարվածություն ունի նկարում նշված ուղղությունը:*



§ 107. Ատոմային էներգիա

Շղթայական ռեակցիա: § 105-ում բերված գնահատումների համաձայն՝ 1 գ ուրան-235-ի տրոհման պրոցեսում անջատված էներգիան միլիոնավոր անգամներ գերազանցում է սովորական վառելիքի այրումից առաջացած էներգիան: Էներգիայի մեծ մասը կինետիկ էներգիայի տեսքով տանում են տրոհված միջուկների բեկորները: Այս պարագրաֆում կխոսենք այդ էներգիան խաղաղ նպատակներով օգտագործելու մասին:

Ուրանի ճեղքման ժամանակ, էներգիայի անջատումից բացի, առաջանում է 2 կամ 3 նեյտրոն, այսինքն՝ եթե ռեակցիայից առաջ կար մեկ նեյտրոն, ապա ռեակցիայից հետո նեյտրոնների թիվն առնվազն կրկնապատկվում է: Բայց չէ՞ որ այդ նոր նեյտրոնները նորից կարող են կլանվել արդեն ուրան-235-ի երկու միջուկների կողմից, որի հետևանքով կանջատվի երկու անգամ մեծ էներգիա, և կառաջանա արդեն 4 նեյտրոն, որոնք նորից կմտնեն ռեակցիայի մեջ՝ անջատելով չորս անգամ մեծ էներգիա և 8 նեյտրոն և այդպես շարունակ: Նման դեպքերում ասում են, որ տեղի է ունենում միջուկների ճեղքման շղթայական ռեակցիա: Եթե այս պրոցեսը չկառավարվի, ապա տեղի կունենա պայթյուն՝ շատ կարճ ժամանակամիջոցում չափազանց մեծ էներգիայի անջատում (նկ.201):



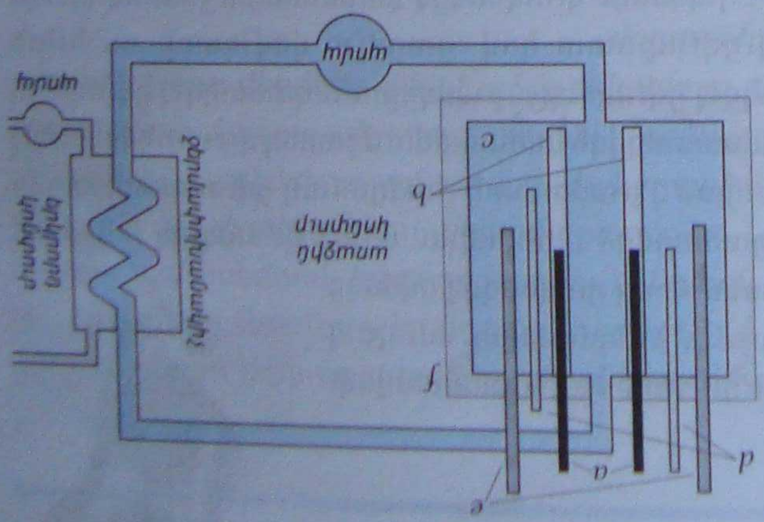
Նկ. 201

Իրականում ոչ բոլոր նեյտրոններն են կլանվում միջուկների կողմից և պատճառ դառնում դրանց ճեղքման: Ճեղքումից առաջացած նեյտրոնն ունի մեծ արագություն, և այն կարող է շատ արագ դուրս թռչել ուրանի այն կտորից, որտեղ տեղի է ունենում միջուկային ռեակցիան, կամ կլանվել այլ, օրինակ՝ բնական ուրան-238-ի միջուկի կողմից: Այսպիսով, որպեսզի շղթայական ռեակցիան ընթանա, նախ անհրաժեշտ է, որ ուրանի անհրաժեշտ իզոտոպի միջուկների թիվը մեծ լինի: Բնական ուրանի կտորի 99,3%-ը կազմում է բնական ուրանի ուրան-238 իզոտոպը և միայն 0,7%-ը՝ ուրան-235 իզոտոպը: Ուրանի նման կտորը շղթայական ռեակցիայի տեսակետից արդյունավետ չէ: Այդ պատճառով օգտագործում են ուրան-235 իզոտոպով մինչև 5% հարստացված նմուշ: Մյուս կողմից, նմուշի չափերն այնպիսին պետք է լինեն, որ նեյտրոնը, նրանից դուրս չեկած, կլանվի որևէ իզոտոպի կողմից: ***Ուրանի կտորի այն նվազագույն զանգվածը, որի դեպքում հնարավոր է շղթայական ռեակցիա, կոչվում է կրիտիկական զանգված:***

Այսպիսով, եթե հարստացված ուրանի զանգվածը փոքր է կրիտիկական զանգվածից, ապա միջուկային ռեակցիան շղթայական բնույթ չի կրում: Հակառակ դեպքում, երբ ուրանի զանգվածը մեծ է կրիտիկական զանգվածից, տեղի է ունենում շղթայական ռեակցիա, որը վերածվում է պայթյունի: Այս սկզբունքի վրա է հիմնված ատոմային ռումբի գործողությունը: Ուրանի երկու կտորներ, որոնց զանգվածներն առանձին-առանձին փոքր են կրիտիկական զանգվածից, պահվում են միմյանցից որոշ հեռավորության վրա: Ռումբը գցելիս դրանք միանում են, գումարային զանգվածը դառնում է կրիտիկականից մեծ, և տեղի է ունենում պայթյուն: Անջատվում է հսկայական ջերմային էներգիա, առաջանում է հարվածային հզոր ալիք և նեյտրոնների ու γ-ճառագայթման ուժգին հոսք:

Միջուկային ռեակտոր: Ատոմային էներգիան խաղաղ նպատակներով օգտագործելու համար անհրաժեշտ է շղթայական ռեակցիան կառավարել, այսինքն՝ այնպես անել, որ նեյտրոնների քանակը միջավայրում անընդհատ մնա նույնը, որպեսզի շղթայական ռեակցիան պայթյունի չվերածվի: ***Այն հարմարանքը, որտեղ տեղի է ունենում ծանր միջուկների ճեղքման կառավարվող շղթայական ռեակցիան, կոչվում է միջուկային (կամ ատոմային) ռեակտոր:***

Ձ-ոյուրյուն ուշեց նրանք տխուր պատմում է արագ եռման ընթացքում ջրի ներքին էներգիայի աշխատանքի և աշխատանքի միջև եղած կապի մասին: Ներկայացնենք այդ փորձերից մեկի նկարագրությունը: Ապակե անոթի մեջ ջուր են լցնում (մոտ կեսը) և ջրի մեջ են իջեցնում ջերմաչափ և մետաղե գլան, որի միջով անցնում է էլեկտրական հոսանք: Ջերմ ոյուրյուն նվազեցնելու համար անոթը դնում են ջրով լի մեծ ամանի մեջ: Ապակե խցանի միջով անցնում է մետաղե ձող, որի ստորին ծայրին ամրացված է թիակ, իսկ վերին ծայրը դուրս է ցցված անոթից: Ձողի վերին ծայրին ամրացված է մի փոքր անիվ, որի ոլորանի վրա փաթաթված է թել, որի ծայրին ամրացված է ծանրոց (նկ. 202-ում պատկերված է մի-ջոցներից մեկը):



Նկ. 202

Նկատենք, որ ջերմամեկուսիչ շրջանցված ներքին անոթի մեջ ջուրը տաքանում է ոչ միայն էլեկտրական հոսանքի աշխատանքի հաշվին, այլև ներքին անոթի պատերի հետ շփման հաշվին: Ներքին անոթի պատերի հետ շփման հաշվին ջրի ներքին էներգիայի աճը հավասար է ներքին անոթի պատերի ներքին էներգիայի նվազմանը: Ներքին անոթի պատերի ներքին էներգիայի նվազումը հավասար է ներքին անոթի պատերի ջերմաստիճանի նվազմանը, որը կարելի է չափել ջերմաչափով: Ներքին անոթի պատերի ջերմաստիճանի նվազումը հավասար է ներքին անոթի պատերի ներքին էներգիայի նվազմանը, որը կարելի է չափել ջերմաչափով: Ներքին անոթի պատերի ներքին էներգիայի նվազումը հավասար է ներքին անոթի պատերի ներքին էներգիայի նվազմանը, որը կարելի է չափել ջերմաչափով:

Ֆերմի Էնրիկո (1901–1954)

Իտալացի ֆիզիկոս, տեսաբան և փորձարար, ատոմային և միջուկային ֆիզիկայի, վիճակագրական ֆիզիկայի և աստղաֆիզիկայի բնագավառների խոշորագույն մասնագետ, նեյտրոնային ֆիզիկայի հիմնադիր: 1938 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

փոխանցում են նրանց, ինչի հետևանքով ջուրը խիստ տաքանում է: Ջուրը, կատարելով շրջանառություն, սառեցման տարայում իր ներքին էներգիան հաղորդում է երկրորդ կոնտուրով հոսող ջրին: Երկրորդ կոնտուրի ջուրը, ստացված ջերմաքանակի շնորհիվ վերածվում է գոլորշու, որն էլ ատոմային կայանքում կատարում է բանող մարմնի դերը. այն աշխատեցնում է էլեկտրակայանի հոսանք արտադրող գեներատորը, այնպես, ինչպես դա տեղի է ունենում ջերմային էլեկտրակայաններում: Ջերմային էլեկտրակայաններում ջուրը վերածվում է գոլորշու վառելիքի այրման, իսկ ատոմային էլեկտրակայաններում՝ միջուկային ռեակցիայում անջատված էներգիայի շնորհիվ:

Առաջին անգամ ուրանի ճեղքման շղթայական ռեակցիան իրականացվել է 1942 թ. ԱՄՆ-ում՝ իտալացի ֆիզիկոս Է.Ֆերմիի ղեկավարությամբ: Աշխարհում առաջին ատոմային էլեկտրակայանը կառուցվել է 1954 թ. Օբնինսկ քաղաքում՝ խորհրդային ֆիզիկոս Ի.Կուրչատովի գլխավորությամբ:

Դանդաղ նեյտրոնային միջուկային ռեակտորով ատոմակայան է Մեծամորում կառուցված և 1979 թ. շահագործման հանձնված Հայկական ատոմակայանը, որի հզորությունը 440 ՄՎտ է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ո՞ր ռեակցիան է կոչվում շղթայական:*
2. *Ի՞նչ է կրիտիկական զանգվածը:*
3. *Ինչու՞ են ռեակտորում նեյտրոնները դանդաղեցվում:*
4. *1 կգ մազութի այրումից անջատվում է 40000 կՋ էներգիա: Այդ էներգիան համեմատեք 1 կգ ուրան-235-ի ճեղքման պրոցեսում անջատված էներգիայի հետ:*

§ 108. Ջերմամիջուկային ռեակցիաներ

Ջերմամիջուկային ռեակցիաներ: Ուրանի միջուկի զանգվածը մեծ է իր բեկորների զանգվածների գումարից, և այդ տարբերությամբ էլ պայմանավորված է անջատվող էներգիան: Թեթև քիմիական տարրերի համար տեղի ունի հակառակը. հելիումի միջուկի զանգվածը փոքր է ծանր ջրածնի երկու միջուկի զանգվածների գումարից, որոնց կարելի է բաժանել հելիումը: Դա նշանակում է, որ թեթև տարրերի միացման (սինթեզի) ժամանակ նույնպես պետք է անջատվի էներգիա: Ուրանի միջուկի ճեղքման ժամանակ անջատվում է 208 ՄէՎ էներգիա կամ $208/235 \approx 0{,}9$ ՄէՎ՝ մեկ նուկլոնի հաշվարկով: Թեթև տարրերի սինթեզի դեպքում անջատվում է 26 ՄէՎ էներգիա կամ մեկ նուկլոնի հաշվարկով $26/4 = 6{,}5$ ՄէՎ: Այլ կերպ ասած՝ սինթեզի ռեակցիան էներգիական տեսանկյունից ավելի շահավետ է:

Սախարով Անդրեյ Դմիտրիի (1921-1989)

Ռուս ֆիզիկոս-տեսաբան, ջերմամիջուկային սինթեզի, տարրական մասնիկների ֆիզիկայի և գրավիտացիայի բնագավառների խոշորագույն մասնագետ, ջրածնային ռումբի ստեղծող: Խաղաղության Նոբելյան մրցանակի դափնեկիր:

Սինթեզի ռեակցիան իրականացնելու համար անհրաժեշտ է թեթև տարրերի միջուկները մոտեցնել միմյանց մինչև 10^{-15} մ՝ հաղթահարելով դրանց էլեկտրաստատիկ վանողության ահռելի ուժը: Դրան կարելի է հասնել մոտ 10^8 Կ ջերմաստիճանում, երբ միջուկների կինետիկ էներգիան բավարար է էլեկտրաստատիկ վանողությամբ պայմանավորված էներգիական արգելքը հաղթահարելու և միջուկներն ընդհուպ իրար մոտեցնելու համար: ***Շատ բարձր ջերմաստիճաններում ընթացող թեթև տարրերի միջուկների սինթեզի ռեակցիաներն անվանում են ջերմամիջուկային ռեակցիաներ:***

Առաջին անգամ պրակտիկայում նման ջերմաստիճաններ և ջերմամիջուկային ռեակցիաներ ստացվել են միջուկային պայթեցումներում: Այդպիսի բարձր ջերմաստիճաններ ստանալու համար միջուկային ռումբում նախ տեղի է ունենում ատոմային պայթյուն, որի հետևանքով էլ տեղի է ունենում ջերմամիջուկային պայթյուն:

Միջուկային ռումբերում կիրառվում է ջրածնի երկու իզոտոպների՝ դեյտերիումի և տրիտիումի սինթեզի ռեակցիան՝

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n : \qquad (12.19) $$

Միջուկային զենքի ստեղծողը ռուս խոշորագույն ֆիզիկոս Ա.Սախարովն է: Ատոմային և ջերմամիջուկային զենքի համակարգի խոշոր մասնագետ, մեծ ֆիզիկոս և ճարտարագետ է Ս.Գ.Քոչարյանցը, որի գիտական գործունեությունը հանգամանքների բերումով մնացել է անհայտ լայն հասարակությանը:

Ջերմամիջուկային ռեակցիաները կարևոր դեր են խաղում Տիեզերքում: Պարզվում է, որ աստղերը, այդ թվում և Արեգակը, կազմված են ջրածնից, որի ատոմները, բարձր ջերմաստիճանի շնորհիվ միանալով, վերածվում են հելիումի: Այլ կերպ ասած՝ աստղերի ճառագայթած էներգիան ջերմամիջուկային ծագում ունի: Հետագայում հելիումի միջուկների միացումից առաջանում են ավելի ծանր տարրեր: Այս ճանապարհով է առաջանում տիեզերական նյութը:

Կառավարվող ջերմամիջուկային ռեակցիաներ: Հաշվի առնելով ջերմամիջուկային ռեակցիաների ժամանակ առաջացող էներգիայի ահռելիությունը և այն փաստը, որ այս ռեակցիաների ընթացքում ռադիոակտիվ ճառագայթում տեղի չի ունենում, շատ գայթակղիչ է դառնում այդ ռեակցիաները կառավարելի դարձնելու հեռանկարը:

Ջերմամիջուկային ռեակցիաները կառավարելի դարձնելու համար անհրաժեշտ է նախ ստանալ 10^8 Կ ջերմաստիճան և այն պահպանել երկար ժամանակ: Նման ջերմաստիճաններ կարելի է ստանալ պլազմայում հզոր էլեկտրական պարպումների միջոցով: Բայց այստեղ առաջանում է երկրորդ խնդիրը. ինչպե՞ս պահել պլազման տվյալ ծավալում, որպեսզի այն չհպվի պատերին: Հակառակ դեպքում պատերն անմիջապես կգոլորշանան: Ստամնաեիրվող հնարավորություններից մեկն այսօր շատ

Քոչարյանց Սամվել Գրիգորի (1909–1993)

Հայ խոշորագույն գիտնական, միջուկային, ջերմամիջուկային և հրթիռամիջուկային զենքերի համակարգերի ստեղծողներից, գլխավոր կոնստրուկտոր:

ուժեղ մագնիսական դաշտերի միջոցով բարձրջերմաստիճանային պլազման սահմանափակելու ճանապարհն է:

Ներկայումս կատարվում են լայնածավալ հետազոտություններ ջերմամիջուկային ռեակտոր ստեղծելու ուղղությամբ, քանի որ կառավարելի ջերմամիջուկային ռեակցիան բնապահպանական տեսակետից մաքուր և անսպառ էներգիայի աղբյուր է:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ինչու՞ թեթև տարրերի միջուկների միաձման ռեակցիաներն ընթանում են միայն բարձր ջերմաստիճաններում:*
2. *Ո՞ր ռեակցիան է կոչվում ջերմամիջուկային:*

§ 109. Ռադիոակտիվ ճառագայթումների կենսաբանական ազդեցությունը

Կենդանի բջիջը բարդ մեխանիզմ է, որը չի կարող բնականոն գործունեությունը շարունակել իր առանձին տեղամասում նույնիսկ փոքր վնասվածքների դեպքում: Բջիջներին էական վնասվածք կարող է հասցնել միջուկային ճառագայթումը, որի հետևանքով կենդանի օրգանիզմը ստանում է ճառագայթային հիվանդություն: Ճառագայթման մեծ ուժգնության դեպքում կենդանի օրգանիզմները ոչնչանում են:

Միջուկային ճառագայթումն իոնացնում է կենսաբանական օբյեկտների ատոմները և մոլեկուլները, որի հետևանքով փոխվում է դրանց քիմիական ակտիվությունը: Ճառագայթումների նկատմամբ ավելի զգայուն են բջիջների, հատկապես՝ արագ բաժանվող բջիջների միջուկները: Այդ պատճառով ճառագայթումն առաջին հերթին ազդում է ողնածուծի վրա, որի հետևանքով խախտվում է նրա արյունաստեղծ ֆունկցիան:

Ճառագայթահարումը մեծ ազդեցություն է ունենում ժառանգականության վրա՝ վնասելով քրոմոսոմների գեները:

Ճառագայթման կենսաբանական ազդեցությունը բնութագրող մեծությունները: Միջուկային ճառագայթման ազդեցության բնույթը կախված է ճառագայթման տեսակից և նրա կլանված բաժնաչափից (դոզայից):

Ճառագայթման կլանված բաժնաչափը ճառագայթման էներգիայի հարաբերությունն է ճառագայթահարվող մարմնի զանգվածին՝

$$D = \frac{E}{m}: \qquad (12.20)$$

Միավորների միջազգային համակարգում կլանված ճառագայթման բաժնաչափի միավորը կոչվում է գրեյ (Գր).

$$1\ \text{Գր} = 1\ \text{Ջ/կգ}:$$

Ճառագայթման բնական ֆոնը (տիեզերական ճառագայթումը, շրջապատող միջավայրի՝ այդ թվում Երկրի ընդերքի, ապարների, երկաբբետոնի ռադիոակտիվությունը) տարեկան կազմում է $2 \cdot 10^{-3}$ Գր մեկ մարդու համար: Ճառագայթման հետ աշխատող մարդկանց համար տարեկան առավելագույն բաժնաչափը սահմանվել է 0,05 Գր: Կարճ ժամանակամիջոցում ստացած 3÷10 Գր բաժնաչափը մահացու է մարդու համար:

Ճառագայթման ենթարկվածության բաժնաչափն իոնացման հետևանքով առաջացած լիցքերի հարաբերությունն է ճառագայթահարված մարմնի զանգվածին:

Գործնականում լայնորեն կիրառվում է ճառագայթման ենթարկվածության բաժնաչափի արտահամակարգային միավորը՝ ռենտգենը (կրճատ՝ Ռ): Այն ռենտգենյան և գամմա-ճառագայթման իոնացնող հատկության չափի միավորն է: Ճառագայթման բաժնաչափը հավասար է 1 Ռ-ի, եթե 1 $սմ^3$ չոր օդում 0°C ջերմաստիճանում և 760 մմ սնդ. սյան ճնշման տակ առաջանում է այնքան իոն, որ դրանց գումարային դրական կամ բացասական լիցքը հավասար է $3 \cdot 10^{-10}$ Կլ: Այդ դեպքում ստացվում է մոտ $2 \cdot 10^9$ զույգ իոն: Գոյացող իոնների քանակը կախված է նյութի կլանած էներգիայից: Գործնականում 1 Ռ-ը մոտավորապես հավասար է 0,01 Գր ճառագայթման կլանված բաժնաչափի:

Կենդանի օրգանիզմների վրա ճառագայթահարման ազդեցությունը կախված է ճառագայթման տեսակից: Ընդունված է տարբեր ճառագայթումների կենսաբանական ազդեցությունը համեմատել ռենտգենյան և գամմա-ճառագայթման կենսաբանական ազդեցության հետ: Եթե վերջինիս ազդեցության գործակիցը համարենք 1, ապա պարզվում է, որ դանդաղ նեյտրոնների կենսաբանական ազդեցությունը 3 է, արագ նեյտրոններինը, պրոտոններինը և α-մասնիկներինը՝ 10:

Միջուկային ճառագայթման ազդեցությունը մարդու վրա: Միջուկային ճառագայթման ազդեցությունը մարդու վրա կախված է ոչ միայն ճառագայթման տեսակից, ճառագայթման բաժնաչափից, այլև դրա ընդունման ժամանակից: Տարբեր ժամանակներում մարդու կողմից ստացած նույն բաժնաչափը տարբեր ձևերով է ազդում նրա վրա: Աղյուսակ 2-ում բերված են ռադիոակտիվ ճառագայթման տարբեր բաժնաչափերի ազդեցությունը մարդու օրգանիզմի վրա:

Առաջին հերթին ճառագայթահարումից վնասվում են մոլեկուլները, ինչը հանգեցնում է բջիջների ոչնչացման: Միջուկային ճառագայթումը խախտում է բջիջների բաժանման պրոցեսը: Մարդու օրգանիզմում ճառագայթման նկատմամբ առավել զգայուն են ողնուղեղը, փայծաղը, գեղձերը և ստամոքսը: Մեծ բաժնաչափերի դեպքում մարդու մահը վրա է հասնում ստամոքսի կամ ողնուղեղի վնասումից:

Աղյուսակ 2

Բաժնաչափ, Ռ	Ազդեցությունը մարդու վրա
0 ÷ 25	Ազդեցության ակնհայտ հայտանիշի բացակայություն
25 ÷ 50	Արյան կազմության փոփոխության հնարավորություն
50 ÷ 100	Արյան կազմության փոփոխություն
100 ÷ 200	Աշխատելու ունակության կորստի հնարավորություն
200 ÷ 400	Անաշխատունակություն: Հնարավոր է մահ
400 ÷ 600	Մահվան հավանականությունը 50% է
600-ից բարձր	Մահացու բաժնաչափ

Օրգանիզմի պաշտպանությունը ճառագայթումից: Ճառագայթման ցանկացած աղբյուրի (ռադիոակտիվ իզոտոպներ, ռեակտորներ և այլն) հետ աշխատելիս անհրաժեշտ է միջոցներ ձեռնարկել այն մարդկանց ճառագայթային պաշտպանության համար, ովքեր կարող են հայտնվել ճառագայթման ազդեցության գոտում:

Պաշտպանության ամենապարզ միջոցը ապասարկող անձնակազմին ճառագայթման աղբյուրից բավականաչափ հեռացնելն է: Հիշեք, որ ոչ մի դեպքում չի կարելի ռադիոակտիվ նմուշը վերցնել ձեռքերով. անհրաժեշտ է օգտվել երկար ունելիներից: Այն դեպքերում, երբ ճառագայթման աղբյուրից բավականաչափ հեռանալ հնարավոր չէ, ճառագայթումից պաշտպանվելու համար օգտագործում են կլանող նյութից միջնորմներ:

Ամենահեշտը α-մասնիկներից պաշտպանվելն է, քանի որ ռադիոակտիվ նյութից մի քանի սանտիմետրի վրա դրանք կլանվում են օդում կամ հագուստում: Ավելի դժվար է β-ճառագայթումից պաշտպանվելը, քանի որ դրանք օդում անցնում են մինչև 5 մ հեռավորություն: Այդ պատճառով β-ակտիվ նմուշները պահում են հատուկ տուփերում:

Ամենադժվարը գամմա-ճառագայթներից և նեյտրոններից պաշտպանվելն է՝ դրանց մեծ ներթափանցման ունակության պատճառով: Գամմա-ճառագայթներն ամենից լավ կլանում է 10 սմ և ավելի հաստությամբ կապարը: Դանդաղ նեյտրոնները լավ են կլանվում բորի և կադմիումի կողմից: Արագ նեյտրոնները նախապես դանդաղեցվում են գրաֆիտով:

Չեռնոբիլի ատոմային էլեկտրակայանի վթարը ցույց տվեց ռադիոակտիվ ճառագայթումների ահավոր վտանգավորությունը: Բոլոր մարդիկ պետք է պատկերացում ունենան այդ վտանգի և դրանից պաշտպանվելու միջոցների մասին:

Խնդիրների լուծման օրինակներ

1. ***Որոշել հելիումի միջուկի կապի էներգիան:***

Լուծում: Քանի որ $m_n=1{,}008665$ զ.ա.մ., $m_p=1{,}007825$ զ.ա.մ. և $m_{He}=4{,}002603$ զ.ա.մ., իսկ 1 զ.ա.մ.$=1{,}660566\cdot10^{-27}$ կգ, զանգվածի պակասորդի համար կստանանք՝

$\Delta m=2(m_n+m_p)-m_{He}=[2(1{,}008665+1{,}007825)-4{,}002603]$զ.ա.մ.$=5{,}044521.10^{-29}$ կգ:

Հելիումի միջուկի կապի էներգիան՝

$$\Delta E=\Delta m c^2=45{,}400689\cdot10^{-13}\ \text{Ջ}\approx28{,}38\ \text{ՄէՎ}:$$

2. ***Որքա՞ն էներգիա է անջատվում*** $^{235}_{92}\mathrm{U}$ ***-ի տրոհման ժամանակ՝***

$$^{235}_{92}\mathrm{U}+{}^{1}_{0}n\rightarrow{}^{140}_{58}\mathrm{Ce}+{}^{94}_{40}\mathrm{Zr}+6e+2\,{}^{1}_{0}n\ ,$$

երբ $M_U=235{,}0439$ ***զ.ա.մ.,*** $m_{Ce}=139{,}9054$ ***զ.ա.մ.,*** $m_{Zr}=93{,}9036$ ***զ.ա.մ.,*** $m_e=0{,}00055$ ***զ.ա.մ.:***

Լուծում: Ռեակցիայում զանգվածի պակասորդը՝

$$\Delta m=(m_U+m_n)-(m_{Ce}+m_{Zr}+2m_n+6m_e)=0{,}223\ \text{զ.ա.մ.},$$

ուստի անջատված էներգիան՝

$$\Delta E=\Delta mc^2=208\ \text{ՄէՎ}:$$

Խնդիրներ

1. *Ռադոնի կիսատրոհման պարբերությունը 1օր է: Որքա՞ն ժամանակ հետո ատոմների թիվը կփոքրանա 8 անգամ:*
2. *Քանի՞ անգամ կփոքրանա ռադոնի իզոտոպներից մեկի ատոմների թիվը 1,91 օր հետո: Ռադոնի այդ իզոտոպի կիսատրոհման պարբերությունը 3,82 օր է:*
3. *Գտե՛ք $^{9}_{4}\mathrm{Be}$ միջուկի զանգվածի պակասորդը, եթե դրա բոլոր նեյտրոններին բաժին ընկնող կապի էներգիան $4\cdot10^{-12}$ Ջ է:*
4. *Ինչի՞ է հավասար ծանր ջրածնի՝ դեյտերիումի միջուկի կապի էներգիան: Դեյտերիումի հարաբերական ատոմային զանգվածը 2,01355 է, պրոտոնինը՝ 1,00783, նեյտրոնինը՝ 1,00866:*
5. *Ինչքա՞ն է ատոմային էլեկտրակայանի էլեկտրական հզորությունը, եթե այն օրական ծախսում է 220 գ ուրան-235 և ունի 25% ՕԳԳ:*
6. *Պրոտոններով $^{11}_{5}\mathrm{B}$ բորի միջուկները ռմբակոծելիս ստացվում է $^{8}_{4}\mathrm{Be}$ բերիլիում: Ուրիշ ի՞նչ միջուկ է առաջանում այդ ռեակցիայում:*
7. *Ռեզերֆորդը, α-մասնիկներով ռմբակոծելով ազոտի միջուկը, հարոնազրծեց պրոտոնը. $^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{14}_{7}\mathrm{N}\to{}^{17}_{8}\mathrm{O}+{}^{1}_{1}\mathrm{H}$: Ինչքա՞ն էներգիա է ծախսվում միջուկային այս ռեակցիան իրականացնելու համար: Հայտնի է, որ՝*

   $m_{^{4}_{2}\mathrm{He}}=4{,}002603$ գ.ա.մ.,

   $m_{^{14}_{7}\mathrm{N}}=14{,}003242$ գ.ա.մ.,

   $m_{^{17}_{8}\mathrm{O}}=16{,}999134$ գ.ա.մ.,

   $m_{^{1}_{1}\mathrm{H}}=1{,}00783$ գ.ա.մ.:
8. *Գտե՛ք $^{235}_{92}\mathrm{U}$-ի կապի էներգիան, եթե $M_U=235{,}0439$ գ.ա.մ.:*
9. *Ինչքա՞ն էներգիա կանջատվի ռադիումի տրոհման ժամանակ՝*

   $^{226}_{88}\mathrm{Ra}\to{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$,

   եթե $m_{Ra}=226{,}03120$ գ.ա.մ.,

   $_{Rn}=222{,}02335$ գ.ա.մ.:

ԳԼՈՒԽ 12-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Ատոմային միջուկը բաղկացած է պրոտոններից և նեյտրոններից: Միջուկի A զանգվածային թիվը հավասար է պրոտոնների Z թվի և նեյտրոնների N թվի գումարին՝ $A=Z+N$: Միևնույն թվով պրոտոններ, բայց տարբեր թվով նեյտրոններ ունեցող միջուկները կոչվում են իզոտոպներ: Դրանց քիմիական հատկությունները նույնական են:
2. Պրոտոնները և նեյտրոնները միջուկում պահվում են հզոր կարճազդու ուժերով: Այդ ուժերը կոչվում են միջուկային:
3. Կապի էներգիան այն էներգիան է, որն անհրաժեշտ է միջուկն առանձին չփոխազդող նուկլոնների տրոհելու համար:
4. Միջուկների փոխակերպումները մեկը մյուսի կամ տարրական մասնիկների հետ փոխազդելիս կոչվում են միջուկային ռեակցիաներ: Միջուկային ռեակցիաների ընթացքում տեղի է ունենում էներգիայի անջատում կամ կլանում:

5. Ռադիոակտիվ տարրերն ինքնակամ արձակում են α-, β- և γ-ճառագայթներ: Այդ ճառագայթների բնույթը տարբեր է՝ γ-ճառագայթները $10^{-10}÷10^{-13}$ մ երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքներ են, β-ճառագայթներն էլեկտրոններ են, իսկ α-ճառագայթները հելիումի ատոմների միջուկներ են:

6. Ծանր տարրերի միջուկները նեյտրոնների ազդեցությամբ կարող են տրոհվել: Ուրանի 235-ի մեկ միջուկի տրոհման արդյունքում անջատվում է 2÷3 նեյտրոն և մոտ 200 ՄէՎ էներգիա:

7. Թեթև միջուկները բախման ժամանակ կարող են միանալ՝ անջատելով էներգիա: Այդպիսի միջուկային ռեակցիաներ կարող են ընթանալ միայն բարձր ջերմաստիճաններում և այդ պատճառով կոչվում են ջերմամիջուկային:

8. Ռադիոակտիվ ճառագայթումները կենդանի օրգանիզմների համար մեծ վտանգ են ներկայացնում: Դրանց հետ աշխատելիս պետք է դիմել պաշտպանական հատուկ միջոցների:

13 ՏԱՐՐԱԿԱՆ ՄԱՍՆԻԿՆԵՐ

§ 110. Տարրական մասնիկներ և նրանց փոխակերպումները

Հիմնական տարրական մասնիկները: Նախորդ գլուխներում մենք գործ ենք ունեցել մի քանի մասնիկների հետ, որոնց ֆիզիկայում անվանում են տարրական մասնիկներ: Դրանք այն մասնիկներն են, որոնցից կազմված են ատոմները կամ որոնք առաջանում են ռադիոակտիվ տրոհումների ժամանակ: Այդ մասնիկներն են ատոմի կառուցվածքի հիմնական տարրերը՝ էլեկտրոնը, պրոտոնը և նեյտրոնը, բետա-տրոհման ժամանակ ի հայտ եկող նեյտրինոն և միջուկների՝ մի էներգիական վիճակից մյուսին անցնելիս ճառագայթված ֆոտոնը՝ գամմա-քվանտը: Աղյուսակ 3-ում բերված են այդ մասնիկների հիմնական բնութագրերը:

Աղյուսակ 3

Մասնիկներ	Նշանակումը	Հանգստի զանգված	Լիցք	Կյանքի տևողություն
Էլեկտրոն	e^-	m_e	$-e$	Կայուն
Պրոտոն	p	$1836{,}1\ m_e$	e	Կայուն
Նեյտրոն	n	$1838{,}6\ m_e$	0	~ 930 վ*
Նեյտրինո	ν	$< 10^{-4} m_e$	0	Կայուն
Ֆոտոն	γ	0	0	Կայուն

Երկար ժամանակ համարվում էր, որ տարրական մասնիկներն անփոփոխ են և չբաժանվող, սակայն փորձը ցույց տվեց, որ դրանք ծնվում են և ոչնչանում, փոխակերպվում մեկը մյուսին:

Առաջին տարրական մասնիկը, որի տրոհումը դիտվեց փորձում, նեյտրոնն էր: Միջուկից դուրս գտնվող ազատ նեյտրոնը տրոհվում է՝ վերածվելով պրոտոնի, էլեկտրոնի և հականեյտրինոյի՝

$$n \to p + e^- + \tilde{\nu}:$$

Հետագայում պարզվեց, որ միջուկում պրոտոնը նույնպես կարող է փոխակերպվել՝ վերածվելով նեյտրոնի, պոզիտրոնի (հակաէլեկտրոնի) և նեյտրինոյի:

Տարրական մասնիկների փոխակերպման օրինակ է էլեկտրոնի և նրա հակամասնիկի՝ պոզիտրոնի ոչնչացման (անիհիլյացման) ռեակցիան, որի արդյունքում ծնվում է երկու կամ ավելի ֆոտոն: Նյութում հնարավոր է ֆոտոնի կյանքին զուգահեռ էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնում:

Տարրական մասնիկներից նեյտրինոն չափազանց թույլ է փոխազդում այլ մասնիկների հետ: Նեյտրինոն առանց կլանվելու կարող է երկրի հաստության բնույթ մտնել և դուրս գալ հարևային բնույթ:

* Ազատ վիճակում:

Ալիխանով Աբրահամ Իսահակի (1904–1970)

Հայ խոշորագույն ֆիզիկոս, միջուկային ֆիզիկայի, տիեզերական ճառագայթների և տարրական մասնիկների ֆիզիկայի բնագավառների ականավոր գիտնական: Խորհրդային միջուկային առաջին ռեակտորի ստեղծողներից: Ա.Ի.Ալիխանյանի հետ հիմնել է Արագածի տիեզերական կայանը (1943 թ.) և Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտը:

Տարրական այլ մասնիկներ: Հետագայում պարզվեց, որ տարրական մասնիկների թիվն ավելի մեծ է, քան թվարկվածները: Մասնիկների մի մասը հայտնաբերվեց տիեզերական ճառագայթների հետազոտման ժամանակ, մյուսը՝ տարրական մասնիկների արագացուցիչներում: Առաջին անգամ տիեզերական ճառագայթներում է հայտնաբերվել մյուոնը (մյու-մեզոնը), որի մասին խոսել ենք ժամանակի դանդաղման երևույթի բացատրության ժամանակ: Մյուոնը հաճախ անվանում են ծանր էլեկտրոն, քանի որ այն իր հատկություններով նման է էլեկտրոնին:

Տարրական մասնիկների ֆիզիկայի զարգացման գործում մեծ դեր են խաղացել 1942 թ. Ալիխանյան եղբայրների կողմից հիմնադրված Արագածի տիեզերական ճառագայթների հետազոտման կայանում ստացված արդյունքները: Հայտնաբերվել է մեծ էներգիաներով պրոտոնների հոսքի, ինչպես նաև նոր տարրական մասնիկների գոյությունը տիեզերական ճառագայթների բաղադրության մեջ:

Տարրական մասնիկների ֆիզիկան, որը հաճախ անվանում են նաև բարձր էներգիաների ֆիզիկա, բուռն զարգացում ապրեց արագացուցիչների ստեղծման շնորհիվ: 1967 թ. Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործարկվեց 6 ԳէՎ էներգիայով էլեկտրոնային արագացուցիչը, որը նախագծվել և կառուցվել է Ալիխանյան եղբայրների ղեկավարությամբ:

Ժամանակակից արագացուցիչներում լիցքավորված մասնիկների արագություններն ընդհուպ մոտենում են վակուումում լույսի տարածման արագությանը: Արդյունքում նրանց էներգիան և զանգվածը շատ են մեծանում, որի հետևանքով դրանք կարող են վերածվել այլ մասնիկների: Այդպիսի մասնիկների ընտանիքներ են ***պիոնները***՝ π-մեզոնները, «տարօրինակ» մասնիկների խումբը՝ ***K-մեզոնները*** և ***հիպերոնները,*** որոնց զանգվածները գերազանցում են նուկլոնների զանգվածը, ավելի մեծ զանգվածներով ***«հմայված» մասնիկները,*** կյանքի շատ կարճ՝ $10^{-22} \div 10^{-23}$ վ տևողությամբ ***ռեզոնանսները:*** Այդ մասնիկների թիվը ներկայումս անցել է 200-ը:

Տարրական մասնիկների այդքան մեծ քանակը և դրանց կյանքի կարճ տևողությունը կասկածի տակ դրեցին տարրական մասնիկների «տարրական» լինելու գաղափարը: Առաջարկվեցին նոր տարրական մասնիկներ, որոնցից բաղկացած են թվարկված տարրական մասնիկները: Այդ մասնիկների մասին կխոսենք § 112-ում:

Փոխազդեցության տեսակները: Ժամանակակից ֆիզիկայում ապացուցված է, որ բնության մեջ գոյություն ունեցող բոլոր ուժերը չորս տեսակի փոխազդեցությունների առանձին դրսևորումներ են: Որո՞նք են այդ փոխազդեցությունները: Դրանցից երեքի մասին մենք արդեն խոսել ենք:

Առաջինը ***գրավիտացիոն փոխազդեցությունն*** է, որն իրականացվում է զանգված ունեցող յանկացած մասնիկների միջև: Փոխազդեցության ուժը ձգողական է, այն հեռազ-

Ալիխանյան Արտեմ Իսահակի (1908–1978)

Հայ խոշորագույն ֆիզիկոս, միջուկային ֆիզիկայի, տիեզերական ճառագայթների և տարրական մասնիկների ֆիզիկայի բնագավառների ականավոր գիտնական: Ա.Ի.Ալիխանովի հետ հիմնել է Արագածի տիեզերական կայանը (1943): Իրականացրել է Երևանի էլեկտրոնային արագացույչի նախագծումը և գործարկումը (1967):

դեցության բնույթ ունի, այսինքն՝ ազդում է նաև մեծ հեռավորությունների վրա: Այս փոխազդեցությամբ է պայմանավորված, օրինակ, Արեգակնային համակարգի գոյությունը: Տարրական մասնիկների գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժը չնչին է դրանց փոքր զանգվածների պատճառով:

Հաջորդ՝ ***էլեկտրամագնիսական փոխազդեցությունը*** նույնպես հեռազդեցության բնույթ ունի: Այս փոխազդեցությունը հատուկ է միայն լիցքավորված մասնիկներին և, դրանց լիցքերի նշանից կախված, կարող է ունենալ ձգողական կամ վանողական բնույթ: Այս ուժերով է պայմանավորված, օրինակ, ատոմի գոյությունը: Լիցքավորված տարրական մասնիկների էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության ուժերն անհամեմատ մեծ են նրանց գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժերից: Օրինակ՝ երկու անշարժ պրոտոնների էլեկտրամագնիսական (կուլոնյան) փոխազդեցության ուժը մոտ 10^{36} անգամ մեծ է դրանց գրավիտացիոն փոխազդեցության ուժից:

Փոխազդեցության մյուս տեսակն ***ուժեղ փոխազդեցությունն*** է: Փոխազդեցության այս տեսակն անվանում են նաև ***միջուկային***, քանի որ հենց այս փոխազդեցությամբ է պայմանավորված միջուկի գոյությունը: Միջուկային փոխազդեցության ուժերն ազդում են միջուկի չափերի կարգի՝ 10^{-15} մ հեռավորությունների վրա: Այդ հեռավորություններից վրա միջուկային ուժերը մոտ հարյուր անգամ մեծ են, քան կուլոնյան ուժերը: Ավելի մեծ հեռավորությունների վրա միջուկային ուժերը շատ արագ ձգտում են զրոյի: Սա նշանակում է, որ դրանք կարճազդու են: Ուժեղ փոխազդեցությամբ փոխազդող տարրական մասնիկները կոչվում են ***հադրոններ*** (հունարեն «հադրոս»՝ մեծ, ուժեղ բառից), դրանցից են նաև նուկլոնները՝ պրոտոնը և նեյտրոնը:

Չորրորդ տիպի փոխազդեցությունը կոչվում է ***թույլ փոխազդեցություն:*** Այսպիսի ուժերը նույնպես կարճազդու են, ազդում են 10^{-16} մ և ավելի փոքր հեռավորությունների վրա: Այս փոխազդեցությամբ են պայմանավորված մի խումբ տարրական մասնիկների միջև տեղի ունեցող ռեակցիաները և փոխակերպումները: Դրանցից են նաև ***լեպտոնները*** (հունարեն «լեպտոս»՝ բարակ, թեթև բառից): Լեպտոններ են՝ էլեկտրոնը, նեյտրինոյի տեսակները, մյուոնը, τ-լեպտոնը և դրանց հակամասնիկները:

§ 111. Պոզիտրոն: Հակամասնիկներ

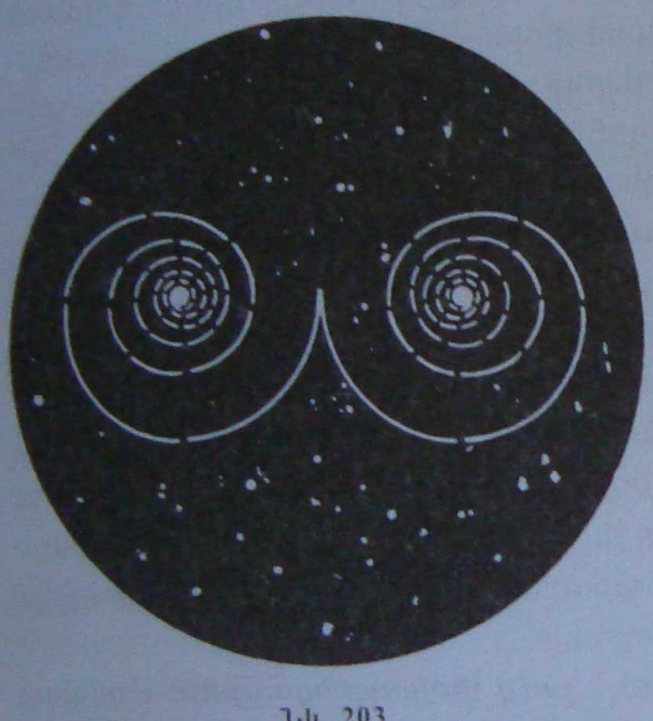
Պոզիտրոնի հայտնագործումը: Պոզիտրոնը հայտնագործվել է, ինչպես ասում են, գրչի ծայրին: Անգլիացի ֆիզիկոս Պ. Դիրակը 1928 թ. ստեղծեց էլեկտրոնի ռելյատիվիստական տեսությունը: Այդ տեսությունից բխում էր մի նոր մասնիկի գոյության հնարավորությունը, որն ուներ էլեկտրոնի զանգվածին հավասար զանգված և մոդուլով էլեկտրոնի լիցքին հավասար դրական լիցք՝ e: Այդ ենթադրյալ մասնիկն էլեկտրոնի «հակապատկերն» է կամ, ինչպես հետագայում ընդունվեց, ***հակամասնիկը***:

Տեսականորեն կանխագուշակված այդ մասնիկը հայտնագործեց ամերիկացի ֆիզիկոս Կ.Անդերսոնը 1932 թ., երբ ուսումնասիրում էր տիեզերական ճառագայթների հետքերը Վիլսոնի խցիկում: Լուսանկարներից մեկում նա նկատեց մի հետք, որը պատկանում էր էլեկտրոնի զանգվածով, բայց դրական լիցքով մասնիկի: Դա էլեկտրոնի հակամասնիկն էր, որն Անդերսոնն անվանեց ***պոզիտրոն*** (լատիներեն «պոզիտիվուս»՝ դրական բառից): Այս հայտնագործությունը շատ անսպասելի էր ֆիզիկոսների համար:

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնունդը և անիհիլացումը: Պոզիտրոնի հայտնագործումից հետո ֆիզիկոսները սկսեցին այդ մասնիկը փնտրել նաև միջուկային ռեակցիաներում: 1933 թ. հայտնագործվեց ***էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի*** ծնման երևույթը, որը տեղի ունի միջավայրի հետ գամմա-քվանտների փոխազդեցության հետևանքով.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+ : \qquad (13.1)$$

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնունդը ցույց է տրված նկ. 203-ում, որտեղ, կարծես ոչնչից, ծնվում է երկու մասնիկ, որոնց հետքերը համաչափ են, բայց որոնք տարբեր ուղղություններով են շարժվում, քանի որ ունեն մոդուլով հավասար և հակառակ նշանի լիցքեր: Իրականում ծնման կետում գամմա-քվանտը, որը լիցք չունենալու պատճառով հետք չի թողնում Վիլսոնի խցիկում, կլանվում է՝ վերածվելով էլեկտրոնի և պոզիտրոնի:



Նկ. 203

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնման ռեակցիայում տեղի ունեն ֆիզիկայում հայտնի բոլոր պահպանման օրենքները: Տեղի ունի լիցքի պահպանման օրենքը. մինչև ռեակցիան լիցքը հավասար է զրոյի, ռեակցիայից հետո գումար լիցքը $(-e + e)$ նույնպես զրո է: Տեղի ունեն նաև իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքները: Մասնավորապես, էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի անիհիլացման պրոցեսում իմպուլսի պահպանման օրենքը փորձով ապացուցել են Ալիխանյան եղբայրները և ռուս գիտնական Լ.Արցիմովիչը 1936 թ.: Իմպուլսի պահպանման օրենքից բխում է, որ ռեակցիային պետք է մասնակցի նաև այլ մասնիկ, այսինքն՝ ռեակցիան վակուումում տեղի ունենալ չի կարող: Էներգիայի պահպանման օրենքից բխում է, որ գամմա-քվանտի էներգիան չի կարող փոքր լինել, քան էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի գումարային հանգստի էներգիան՝

$$E_\gamma \geq 2m_0c^2 : \qquad (13.2)$$

$2m_0c^2$-ն այն նվազագույն էներգիան է, որից փոքր էներգիա ունեցող գամմա-քվանտը չի կարող ծնել էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգ:

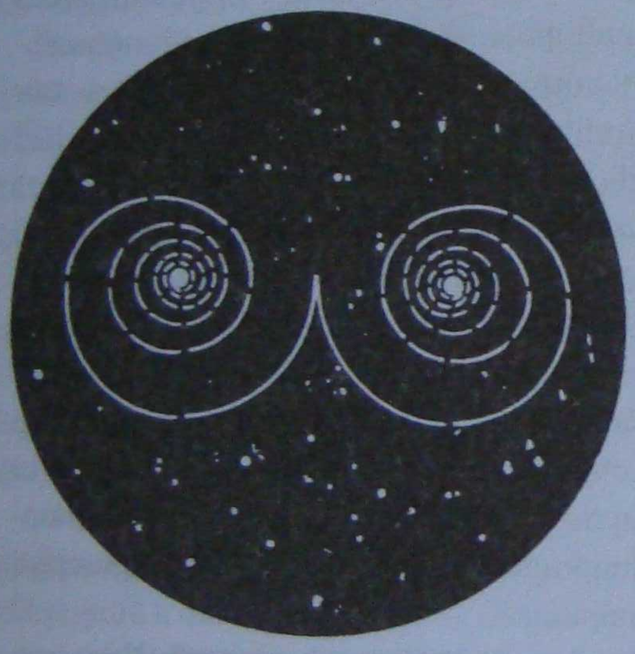
Դիրակի կանխագուշակումներից մեկն էլ այն էր, որ պոզիտրոնը և էլեկտրոնը, բախվելով միմյանց, ոչնչանում են: Իսկապես, շատ արագ փորձով հաստատվեց նաև այդ կանխագուշակումը: Ապացուցվեց, որ էլեկտրոնը և պոզիտրոնը, փոխազդելով մի-

Տեսականորեն կանխագուշակված այդ մասնիկը հայտնագործեց ամերիկացի ֆիզիկոս Կ.Անդերսոնը 1932 թ., երբ ուսումնասիրում էր տիեզերական ճառագայթների հետքերը Վիլսոնի խցիկում: Լուսանկարներից մեկում նա նկատեց մի հետք, որը պատկանում էր էլեկտրոնի զանգվածով, բայց դրական լիցքով մասնիկի: Դա էլեկտրոնի հակամասնիկն էր, որն Անդերսոնն անվանեց ***պոզիտրոն*** (լատիներեն «պոզիտիվուս»՝ դրական բառից): Այս հայտնագործությունը շատ անսպասելի էր ֆիզիկոսների համար:

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնունդը և անհիհիլացումը: Պոզիտրոնի հայտնագործումից հետո ֆիզիկոսները սկսեցին այդ մասնիկը փնտրել նաև միջուկային ռեակցիաներում: 1933 թ. հայտնագործվեց ***էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի*** ծնման երևույթը, որը տեղի ունի միջավայրի հետ գամմա-քվանտների փոխազդեցության հետևանքով.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+ : \qquad (13.1)$$

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնունդը ցույց է տրված նկ. 203-ում, որտեղ, կարծես ոչնչից, ծնվում է երկու մասնիկ, որոնց հետքերը համաչափ են, բայց որոնք տարբեր ուղղություններով են շարժվում, քանի որ ունեն մոդուլով հավասար և հակառակ նշանի լիցքեր: Իրականում ծնման կետում գամմա-քվանտը, որը լիցք չունենալու պատճառով հետք չի թողնում Վիլսոնի խցիկում, կլանվում է՝ վերածվելով էլեկտրոնի և պոզիտրոնի:



Նկ. 203

Էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի ծնման ռեակցիայում տեղի ունեն ֆիզիկայում հայտնի բոլոր պահպանման օրենքները: Տեղի ունի լիցքի պահպանման օրենքը. մինչև ռեակցիան լիցքը հավասար է զրոյի, ռեակցիայից հետո գումար լիցքը $(-e + e)$ նույնպես զրո է: Տեղի ունեն նաև իմպուլսի և էներգիայի պահպանման օրենքները: Մասնավորապես, էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի անհիհիլացման պրոցեսում իմպուլսի պահպանման օրենքը փորձով ապացուցել են Ալիխանյան եղբայրները և ռուս գիտնական Լ.Արցիմովիչը 1936 թ.: Իմպուլսի պահպանման օրենքից բխում է, որ ռեակցիային պետք է մասնակցի նաև այլ մասնիկ, այսինքն՝ ռեակցիան վակուումում տեղի ունենալ չի կարող: Էներգիայի պահպանման օրենքից բխում է, որ գամմա-քվանտի էներգիան չի կարող փոքր լինել, քան էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի գումարային հանգստի էներգիան՝

$$E_\gamma \geq 2m_0c^2 : \qquad (13.2)$$

$2m_0c^2$-ն այն նվազագույն էներգիան է, որից փոքր էներգիա ունեցող գամմա-քվանտը չի կարող ծնել էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգ:

Դիրակի կանխագուշակումներից մեկն էլ այն էր, որ պոզիտրոնը և էլեկտրոնը, բախվելով միմյանց, ոչնչանում են: Իսկապես, շատ արագ փորձով հաստատվեց նաև այդ կանխագուշակումը: Ապացուցվեց, որ էլեկտրոնը և պոզիտրոնը, փոխազդելով մի-

Դիրակ Պոլ Ադրիեն Մորիս (1902 - 1984)

Անգլիացի ֆիզիկոս-տեսաբան, քվանտային մեխանիկայի առաջնագծերից: Կատարյալ է էլեկտրոնի շարժման ոչ բարիվիսատական տեսություն և կանխատեսել էլեկտրոնի հակառնանիկի՝ պոզիտրոնի գոյությունը: Հիմնադիրն էլեկտրադինամիկայի, վիճակագրական ֆիզիկայի և գրավիտացիայի բնագավառի խոշորագույն գիտնական: 1933 թ. արժանացել է Նոբելյան մրցանակի:

մյանց հետ, ոչնչանում են՝ ***անիհիլացման*** են ենթարկվում (լատիներեն «նիհիլ»՝ ոչինչ բառից): Անիհիլացման արդյունքում ծնվում է երկու (կամ ավելի) գամմա-քվանտ.

$$e^- + e^+ \to 2\gamma; \qquad (13.3)$$

Անիհիլացման երևույթի պատճառով է, որ Երկրի վրա չկան պոզիտրոններ: Երբ տեղի է ունենում որևէ պոզիտրոնի ծնում, այն անմիջապես հանդիպում է որևէ էլեկտրոնի, և նրանք ոչնչացնում են միմյանց:

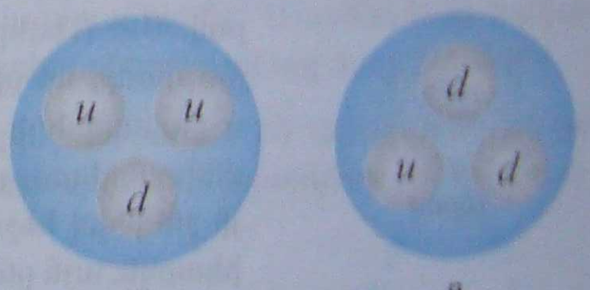
Պոզիտրոնի հայտնագործումը շատ կարևոր փաստ էր ֆիզիկայի համար: Դիրակի տեսությունից բխում էր նաև պրոտոնի հակառնանիկի գոյությունը, որն անվանեցին ***հակապրոտոն:*** Հետագայում փորձով հայտնագործվեցին հակապրոտոնը, հականեյտրոնը և այլ հակառնանիկներ:

Այն նյութը, որի ատոմները բաղկացած են հակառնանիկներից, կոչվում է ***հականյութ:*** 1969 թ. հայտնագործվել է առաջին հակառնյութը՝ ***հակահելիումը:***

Հականյութի և նյութի անիհիլացման ժամանակ հանգստի էներգիան վերածվում է ծնված γ-քվանտների կինետիկ էներգիայի: Հանգստի էներգիան էներգիայի ամենահակայական պաշարն է Տիեզերքում: Եվ միայն անիհիլացման ժամանակ այն կարող է լրիվ անջատվել՝ վերածվելով էներգիայի այլ տեսակների:

§ 112. Քվարկներ

Քվարկների հատկությունները: 1964 թ. ամերիկացի ֆիզիկոսներ Մ.Գել-Մանը և Ջ.Ցվայգը առաջադրեցին մի վարկած, որի համաձայն ուժեղ փոխազդող մասնիկները, այդ թվում՝ նուկլոնները, իրենց հերթին բաղկացած են այլ մասնիկներից՝ ***քվարկներից:*** Քվարկները միմյանցից տարբերվում են իրենց լիցքով՝



ա բ

Նկ. 204

«*u*» քվարկն ունի $\frac{2}{3}e$, «*d*» քվարկը՝ $-\frac{1}{3}e$ լիցք, իսկ «*s*» քվարկը՝ $-\frac{1}{3}e$ լիցք:

Ըստ այս վարկածի՝ պրոտոնը բաղկացած է երկու «*u*» քվարկից և մեկ «*d*» քվարկից (նկ. 204, ա), ուստի նրա գումար լիցքը հավասար է՝

$$\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = e;$$

Նեյտրոնը բաղկացած է մեկ «u» քվարկից և երկու «d» քվարկից (նկ. 204,բ), ուստի գումար լիցքը հավասար է՝

$$\frac{2}{3}e-\frac{1}{3}e-\frac{1}{3}e=0:$$

Մեզոնները կազմված են քվարկից և հակաքվարկից: Օրինակ՝ K°-մեզոնը բաղկացած է «u» քվարկից և «$\bar{u}$» հակաքվարկից:

Քվարկների չափերը չեն գերազանցում 10^{-18} մ-ը, այսինքն՝ պրոտոնի չափերից մոտ 1000 անգամ փոքր են:

Մինչև այժմ չի հաջողվել հայտնագործել քվարկ ազատ վիճակում: Ֆիզիկոսները կարծում են, որ պատճառն այն է, որ քվարկներին մասնիկի ներսում են պահում շատ հզոր ուժեր, որոնք թույլ չեն տալիս քվարկներին առանձնանալ: Այդ ուժերը պայմանավորված են հատուկ մասնիկներով, որոնց անվանում են ***գլյուոններ*** (անգլերեն «գլյու»՝ սոսինձ բառից):

Քվարկներն ունեն այլ հատկություններ ևս, որոնք բնորոշ են միմիայն նրանց: Այդպիսի հատկություններից մեկն անվանում են ***«գույն»:*** Սա, իհարկե, մեզ ծանոթ գույնը չէ, որը կա բնության մեջ, այսինքն՝ քվարկները գունավոր չեն, այլ ունեն մի առանձնահատուկ բնութագիր, որն անվանում են «գույն»: Այդ բնութագիրը տարբերելու համար քվարկները բաժանում են երեք գույնի՝ կարմիր, կապույտ և կանաչ, իսկ հակաքվարկները՝ հակակարմիր, հակակապույտ և հակականաչ: Գունավոր քվարկին պետք է վերաբերել այնպես, ինչպես, ասենք, բացասական լիցք ունեցող էլեկտրոնին, դրական լիցք ունեցող պոզիտրոնին և այլն: Հետագայում ներմուծվել են ևս երեք՝ «c», «b» և «t» քվարկները:

Նկ. 205

Քվարկների հայտնագործումը: Ներկայումս կան փորձնական ապացույցներ, որ պրոտոնի ներսում կան լիցքի խտացումներ, որոնց, հավանաբար, կարելի է համադրել քվարկներ: Պրոտոնի քվարկային կառուցվածքն ուսումնասիրելու նպատակով պրոտոնները ռմբակոծել են 20 ԳէՎ էներգիայով էլեկտրոններով: Սա Ռեզերֆորդի փորձի նմանակն է, միայն այն տարբերությամբ, որ թիթեղի փոխարեն վերցված են պրոտոններ, իսկ α-մասնիկների փոխարեն՝ էլեկտրոններ: Էլեկտրոններն ուժեղ փոխազդեցություններին չեն մասնակցում, ուստի մեծ էներգիայի շնորհիվ հեշտությամբ կարող են մտնել պրոտոնի մեջ, եթե, իհարկե, այն ընդհատ կառուցվածք ունի: Փորձերը ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնները, բախվելով պրոտոններին, հաճախ ցրվում են մեծ անկյուններով, կարծես բախվել են բացասական լիցքավորված մասնիկի, այսինքն՝ «d» քվարկի: Փորձի արդյունքները վկայում են այն մասին, որ պրոտոնում կան

$$\frac{2}{3}e,\ \frac{2}{3}e,\ -\frac{1}{3}e$$

լիցքերով մասնիկներ: Այսպիսով, կարելի է փորձնականորեն ապացուցված համարել քվարկների գոյությունը:

Կատարվել են նաև էլեկտրոնների ցրման փորձեր նեյտրոնների վրա:

Քվարկների հայտնագործումից հետո կարելի է պնդել, որ տարրական մասնիկներ են միայն քվարկներն ու լեպտոնները:

Նյութի կառուցվածքը: Մինչև այժմ հայտնաբերված է նյութի կառուցվածքի չորս մակարդակ՝ մոլեկուլներ, ատոմներ, տարրական մասնիկներ և քվարկներ (նկ. 205): Մոլեկուլները բաղկացած են ատոմներից, ատոմները՝ տարրական մասնիկներից՝ նուկլոններից և էլեկտրոններից: Տարրական մասնիկների մի մասը՝ հադրոնները, որոնք մասնակցում են ուժեղ փոխազդեցություններին, ունեն բարդ կառուցվածք և բաղկացած են քվարկներից: Տարրական մասնիկների մյուս մասը՝ լեպտոնները, այդ թվում՝ էլեկտրոնը և ֆոտոնը, որոնք մասնակցում են թույլ փոխազդեցություններին, անբաժանելի են, այսինքն՝ չունեն քվարկային կառուցվածք:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ տարրական մասնիկներ գիտեք:*
2. *Քանի՞ տեսակի փոխազդեցություն կա բնության մեջ: Թվարկե՛ք այդ փոխազդեցությունները:*
3. *Ի՞նչ մասնիկ է պոզիտրոնը:*
4. *Ո՞ր երևույթն է կոչվում էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի անիհիլացում:*
5. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի հակահելիումը:*
6. *Ի՞նչ է քվարկը:*
7. *Ի՞նչ լիցքեր և «գույներ» ունեն քվարկները:*
8. *Ո՞ր մասնիկներն են իսկապես տարրական:*

ԳԼՈՒԽ 13-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Տարրական մասնիկներն անփոփոխ չեն մնում: Տարրական մասնիկների մեծ մասն անկայուն է և ժամանակի ընթացքում ինքնաբերաբար փոխակերպվում է այլ մասնիկների. բացառություն են կազմում ֆոտոնը, էլեկտրոնը, պրոտոնը և նեյտրինոն:
2. Բոլոր տարրական մասնիկներն ունեն հակամասնիկներ: Մասնիկները հակամասնիկների հետ բախվելիս ոչնչանում են՝ փոխակերպվելով այլ մասնիկների:
3. Ուժեղ փոխազդող տարրական մասնիկները բաղկացած են ավելի հիմնական մասնիկներից՝ քվարկներից: Մինչև այժմ ազատ վիճակում քվարկներ չեն հայտնաբերվել:

Կատարվել են նաև էլեկտրոնների ցրման փորձեր նեյտրոնների վրա:

Քվարկների հայտնագործումից հետո կարելի է պնդել, որ տարրական մասնիկներ են միայն քվարկներն ու լեպտոնները:

Նյութի կառուցվածքը: Մինչև այժմ հայտնաբերված է նյութի կառուցվածքի չորս մակարդակ՝ մոլեկուլներ, ատոմներ, տարրական մասնիկներ և քվարկներ (նկ. 205): Մոլեկուլները բաղկացած են ատոմներից, ատոմները՝ տարրական մասնիկներից՝ նուկլոններից և էլեկտրոններից: Տարրական մասնիկների մի մասը՝ հադրոնները, որոնք մասնակցում են ուժեղ փոխազդեցություններին, ունեն բարդ կառուցվածք և բաղկացած են քվարկներից: Տարրական մասնիկների մյուս մասը՝ լեպտոնները, այդ թվում՝ էլեկտրոնը և ֆոտոնը, որոնք մասնակցում են թույլ փոխազդեցություններին, անբաժանելի են, այսինքն՝ չունեն քվարկային կառուցվածք:

Հարցեր և առաջադրանքներ

1. *Ի՞նչ տարրական մասնիկներ գիտեք:*
2. *Քանի՞ տեսակի փոխազդեցություն կա բնության մեջ: Թվարկե՛ք այդ փոխազդեցությունները:*
3. *Ի՞նչ մասնիկ է պոզիտրոնը:*
4. *Ո՞ր երևույթն է կոչվում էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգի անիհիլացում:*
5. *Ի՞նչ կառուցվածք ունի հակահելիումը:*
6. *Ի՞նչ է քվարկը:*
7. *Ի՞նչ լիցքեր և «գույներ» ունեն քվարկները:*
8. *Ո՞ր մասնիկներն են իսկապես տարրական:*

ԳԼՈՒԽ 13-Ի ՀԱՄԱՌՈՏ ԱՄՓՈՓՈՒՄԸ

1. Տարրական մասնիկներն անփոփոխ չեն մնում: Տարրական մասնիկների մեծ մասն անկայուն է և ժամանակի ընթացքում ինքնակամ փոխակերպվում է այլ մասնիկների. բացառություն են կազմում ֆոտոնը, էլեկտրոնը, պրոտոնը և նեյտրինոն:
2. Բոլոր տարրական մասնիկներն ունեն հակամասնիկներ: Մասնիկները հակամասնիկների հետ բախվելիս ոչնչանում են՝ փոխակերպվելով այլ մասնիկների:
3. Ուժեղ փոխազդող տարրական մասնիկները բաղկացած են ավելի հիմնական մասնիկներից՝ քվարկներից: Մինչև այժմ ազատ վիճակում քվարկներ չեն հայտնաբերվել:

ՉԱՓՈՒՄՆԵՐ ՉԱՓՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Ֆիզիկական մեծությունների չափումը: Լաբորատոր աշխատանքների կատարման հիմնական տարրերից է ֆիզիկական մեծությունների չափումը: Չափել որևէ ֆիզիկական մեծություն՝ նշանակում է այն համեմատել համասեռ, որպես միավոր ընտրված մեծության հետ:

1960 թ. ընդունված միավորների միջազգային համակարգը (ՄՀ) կազմված է 7 հիմնական միավորներից՝ մետր, կիլոգրամ, վայրկյան, ամպեր, կելվին, կանդելա, մոլ, 2 լրացուցիչ միավորներից՝ ռադիան, ստեռադիան, և ածանցյալ միավորներից՝ մ/վ, մ^2, հերց, նյուտոն և այլն:

Չափումները կարող են լինել ուղղակի կամ անուղղակի: Ուղղակի չափման ժամանակ չափիչ սարքի օգնությամբ որոշվում է չափվող մեծությունը, իսկ անուղղակի չափման ժամանակ չափվող մեծությունն արտահայտվում է այլ ուղղակիորեն չափվող մեծությունների միջոցով: Օրինակ՝ պինդ մարմնի խտությունը որոշելու համար չափվում է նրա ծավալը և զանգվածը, որոնց միջոցով $\rho = m/V$ արտահայտությամբ որոշվում է խտության արժեքը:

Դպրոցական լաբորատորիայում ուղղակիորեն կարելի է չափել երկարությունը, զանգվածը, հոսանքի ուժը, ջերմաստիճանը և այլն: Անուղղակիորեն կարելի է չափել նյութի տեսակարար դիմադրությունը, իմպուլսը, էներգիան, գազի կոնցենտրացիան, կոնդենսատորի ունակությունը և այլն:

Չափումները կատարվում են չափիչ սարքերի միջոցով: Չափիչ սարքի հիմնական բնութագրերն են՝

- չափումների միջակայքը, չափման սահմանը,
- մեկ բաժանման արժեքը,
- բացարձակ գործիքային սխալը:

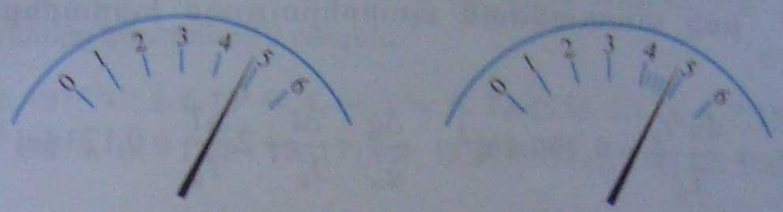
Օրինակ՝ հոսանքի ուժի չափման սարքերը՝ ամպերմետրերը, ըստ չափման սահմանի և բաժանման արժեքի, անվանվում են նաև միլիամպերմետր, միկրոամպերմետր և այլն:

Չափիչ սարք	Չափման սահմանը	Բաժանման արժեքը	Չափումների բացարձակ սխալը
Միկրոմետր	25 մմ	0,01 մմ	±5 մկմ
Լաբորատոր կշեռք	200 գ	0,2 գ	±0,1 գ
Վայրկենաչափ	1 վ ÷ 30 ր	0,2 վ	±1 վ՝ 30 ր-ում
Սնդիկային ջերմաչափ	0°C ÷ 100°C	1°C	±1°C
Ամպերմետր ՊՄ70	5 Ա	0,1 Ա	0,075 Ա

Ֆիզիկական մեծությունների չափումը ֆիզիկական երևույթների ուսումնասիրման փորձարարական եղանակի հիմնական խնդիրներից մեկն է: Փորձարարական աշխատանքի հիմնական տարրերից է ստացված տվյալների վերլուծությունը՝ չափման արդյունքների մշակումը:

Չափման սխալները: Ինչպես ելակետային տվյալները, այնպես էլ ֆիզիկական մեծության չափումների արդյունքը բնութագրվում են սխալներով: «Սխալը» դիտարկվող կամ հաշվարկված մեծության և իրական մեծության տարբերությունն է:

Ուղղակի չափման ժամանակ չափվող x մեծությունը գրառում է $x = x_0 \pm \Delta x$ ձևով, որտեղ x_0-ն չափման ժամանակ չափիչ սարքի ցուցմունքն է, բաժանումների գծերից ամենամոտ արժեքը: Δx -ը 1 բաժանման արժեքն է: Օրինակ՝ նկարում պատկերված դեպքերում՝



$I_0 = 5$Ա, $\Delta I = 1$Ա $\qquad$ $I_0 = 4{,}8$Ա, $\Delta I = 0{,}2$Ա

Ուղղակի չափման մի քանի չափումների արդյունքների մշակման համար $x_1 \pm \Delta x_1$, $x_2 \pm \Delta x_2$, ..., $x_n \pm \Delta x_n$ արժեքներով որոշվում է չափվող մեծությունը՝ որպես այդ մեծությունների թվաբանական միջին.

$$x_0 = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}, \qquad \Delta x = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots + \Delta x_n}{n};$$

A մեծության չափման հարաբերական սխալը որոշվում է հետևյալ կերպ՝

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_0};$$

Որոշենք անուղղակի չափման սխալը: Եթե անուղղակիորեն չափվող c ֆիզիկական մեծությունը տրվում է a և b ֆիզիկական մեծությունների արտադրյալի տեսքով, ապա՝

$$c = ab = (a_0 \pm \Delta a)(b_0 \pm \Delta b) \approx a_0 b_0 \pm (a_0 \Delta b + b_0 \Delta a). \qquad (1)$$

$$\frac{\Delta c}{c_0} = \pm\left(\frac{\Delta a}{a_0} + \frac{\Delta b}{b_0}\right), \qquad (2)$$

որտեղ $\Delta c = c - c_0 = c - a_0 b_0 = a_0 \Delta b + b_0 \Delta a$ մեծությունը c մեծության բացարձակ սխալն է, իսկ $\Delta c / c_0$, $\Delta a / a_0$, $\Delta b / b_0$ մեծությունները համապատասխան մեծությունների հարաբերական սխալներն են: (2) արտահայտության համաձայն՝ արտադրյալի հարաբերական սխալը հավասար է արտադրիչների հարաբերական սխալների գումարին: Նույնը ստացվում է, երբ անուղղակիորեն չափվող ֆիզիկական մեծությունը տրվում է 2 ֆիզիկական մեծությունների հարաբերության տեսքով:

Եթե ֆիզիկական մեծությունը տրվում է

$$c = \frac{a}{b^2}$$

բանաձևով, ապա այդ մեծության հարաբերական սխալը որոշվում է

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\Delta a}{a} + 2\frac{\Delta b}{b}$$

բանաձևով:

Որպես օրինակ որոշենք ազատ անկման արագացման չափման բացարձակ և հարաբերական սխալները: Ներկայացնենք l երկարությամբ ճոճանակի 100 տատանումների տևողության, ճոճանակի երկարության և տատանումների պարբերության արժեքները՝

$$t = (206 \pm 2)\ \text{վ},\quad l = (105{,}3 \pm 0{,}3)\ \text{սմ},\quad T = \frac{206 \pm 2}{100}\ \text{վ} = (2{,}06 \pm 0{,}02)\ \text{վ}:$$

Ճոճանակի երկարության չափման հարաբերական սխալը կազմել է $\Delta l / l_0 = 2{,}85 \cdot 10^{-3}$, իսկ տատանման պարբերության հարաբերական սխալը՝ $\Delta T / T_0 = 4{,}85 \cdot 10^{-3}$:

$$g_0 = \frac{4\pi^2 l_0}{T_0^2} = 9{,}796\ \text{մ/վ}^2,\quad \frac{\Delta g}{g_0} = \frac{\Delta l}{l_0} + 2\frac{\Delta T}{T_0} = 0{,}123\ \text{մ/վ}^2,$$

$$g = (9{,}796 \pm 0{,}123)\ \text{մ/վ}^2:$$

Այսպիսով, ազատ անկման արագացման արժեքը գտնվում է

$$9{,}673\ \text{մ/վ}^2 < g < 9{,}919\ \text{մ/վ}^2$$

միջակայքում:

ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐ

Գլուխ 1. **1.** $3\cdot10^{-9}$ Կլ: **2.** 2: **3.** $3{,}5\cdot10^{-6}$ Ն: **4.** $1{,}02\cdot10^{-7}$ Ն/Կլ: **5.** 1,2 մ: **6.** 119 Ն/Կլ: **7.** 0,8 Ջ: **8.** $5{,}6\cdot10^{6}$ մ/վ: **9.** 0,4 մ; 0,08 մ: **10.** 0,01 մ: **11.** $1{,}7\cdot10^{8}$ Վ/մ: **12.** Բոլոր թվարկված մեծությունները կմեծանան 2 անգամ:

Գլուխ 2. **1.** 4 Վ: **2.** 1916°C: **3.** $6\cdot10^{4}$ Ջ: **4.** 66,5 %: **5.** 2,625 Ա; 2,1 Ա: **6.** $2{,}15R$: **7.** 30 Վ: **8.** 30 Վ; 1 Օմ: **9.** $(n+1)/n$: **10.** 1714 Ջ; 1728 Ջ: **11.** 2,2 Վ: **12.** 10^{-3} Ա: **13.** R: **14.** $r/8$:

Գլուխ 3. **1.** $6{,}7\cdot10^{-10}$: **2.** 10: **3.** $2{,}4\cdot10^{-7}$ կգ/Կլ: **4.** $1{,}66\cdot10^{-7}$ կգ: **5.** $13{,}4\cdot10^{7}$ Ջ: **6.** $3{,}87\cdot10^{9}$ Կլ: **7.** 0,002 մ:

Գլուխ 4. **1.** 0,1 Տլ: **2.** $8\cdot10^{-3}$ Ջ: **3.** $8{,}9\cdot10^{-9}$ վ: **4.** $8\cdot10^{-23}$ կգ մ/վ: **5.** $5{,}6\cdot10^{-16}$ Ջ: **6.** $eBt/2\pi m_p$: **7.** $(mv\sin\alpha)/eB$; $(2\pi mv\cos\alpha)/eB$:

Գլուխ 5. **1.** 400 Վ: **2.** 8 Ա: **3.** 5 Ա: **4.** $3{,}14\cdot10^{-2}$ Ա: **5.** $1{,}2\cdot10^{-7}$ Կլ: **6.** 0,375 Վ: **7.** $4\cdot10^{-4}$ Վ: **8.** 2,5 Ջ:

Գլուխ 6. **1.** 1,25: **2.** $5\cdot10^{-8}$ Հն: **3.** 1 Ա: **4.** $1{,}2\cdot10^{-8}$ Ջ; $4\cdot10^{-9}$ Ջ: **5.** 0,6 Ջ: **6.** $4\cdot10^{-6}$ վ: **7.** 100: **8.** $6{,}6\cdot10^{4}$ Ջ: **9.** 0,5: **10.** 1000 մ: **11.** $2{,}8\cdot10^{-7}$ Ֆ:

Գլուխ 7. **1.** 2 մ: **2.** 30°: **3.** 6 սմ: **4.** 94°: **6.** arctg n: **7.** $H(tg\beta+tg\alpha)/(tg\beta-tg\alpha)$: **8.** 60°: **9.** $c/\sqrt{2}$: **10.** 4,5 մ; 1,5 մ: **11.** 6 մ: **12.** $(h_1-h_2)/(d_1h_1-d_2h_2)$: **13.** 0,2 մ: **14.** $30/\sqrt{n^2-1}$ սմ:

Գլուխ 8. **1.** 3: **2.** $7{,}6\cdot10^{-7}$ մ: **3.** 6: **4.** $2{,}2\cdot10^{-6}$ մ: **5.** $6\cdot10^{-7}$ մ: **6.** ա) մաքսիմում; բ) մինիմում; գ) մաքսիմում: **7.** $4\cdot10^{14}$ Հց; $7{,}5\cdot10^{14}$ Հց: **9.** $2\cdot10^{-6}$ մ: **11.** λ-ն փոխվում է; ν-ն չի փոխվում; nչ: **12.** Մաքսիմում: **13.** $5{,}8\cdot10^{-7}$ մ: **14.** Ոչ:

Գլուխ 9. **1.** B կետում: **2.** $\sqrt{3}c/2$: **3.** $2\cdot10^{-22}$ կգ·մ/վ: **5.** 0,14c: **6.** $8{,}2\cdot10^{-14}$ Ջ; $1{,}5\cdot10^{-30}$ կգ; $1{,}37\cdot10^{-13}$ Ջ; $5{,}5\cdot10^{-14}$ Ջ:

Գլուխ 10. **1.** $3\cdot10^{-19}$ Ջ; $3{,}3\cdot10^{-36}$ կգ: **2.** $2{,}2\cdot10^{-27}$ կգ·մ/վ: **3.** 10^{19}: **4.** $1{,}67\cdot10^{-27}$ կգ·մ/վ: **5.** $8{,}4\cdot10^{5}$ մ/վ: **6.** 10^{15} Հց: **7.** $5\cdot10^{14}$ Հց: **8.** $5\cdot10^{-19}$ Ջ: **9.** $2{,}9\cdot10^{-3}$ Ա: **10.** 2:

Գլուխ 11. **1.** $7\cdot10^{-14}$ մ: **2.** $9{,}9\cdot10^{21}$ մ/վ^2: **3.** $6{,}6\cdot10^{-7}$ մ: **4.** $6\cdot10^{-7}$ մ: **5.** $2{,}5\cdot10^{-7}$ մ:

Գլուխ 12. **1.** 3 p: **2.** $\sqrt{2}$: **3.** $8\cdot10^{-29}$ կգ: **4.** 2,76 ՄէՎ: **5.** 54 ՄՎտ: **6.** ^4_2He: **7.** 1 ՄէՎ: **8.** 1800 ՄէՎ: **9.** 4,9 ՄէՎ:

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԴԻՆԱՄԻԿԱՅԻ ՀԻՄՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ներածություն 5

ԳԼՈՒԽ 1. Էլեկտրաստատիկա

§ 1. Էլեկտրական լիցք: Լիցքի պահպանման օրենքը 6
§ 2. Կուլոնի օրենքը 8
§ 3. Էլեկտրական լիցքի միավորը 11
§ 4. Էլեկտրական դաշտ 12
§ 5. Էլեկտրական դաշտի լարվածություն 13
§ 6. Էլեկտրական դաշտի ուժագծեր 16
§ 7. Հաղորդիչներն էլեկտրաստատիկ դաշտում 18
§ 8. Դիէլեկտրիկներն էլեկտրաստատիկ դաշտում 20
§ 9. Լիցքի տեղափոխման աշխատանքը համասեռ էլեկտրաստատիկ դաշտում 22
§ 10. Լիցքավորված մարմնի պոտենցիալ էներգիան էլեկտրաստատիկ դաշտում 24
§ 11. Էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալ: Պոտենցիալների տարբերություն 25
§ 12. Կետային լիցքի էլեկտրաստատիկ դաշտի պոտենցիալը 27
§ 13. Էլեկտրաստատիկ դաշտի լարվածության և պոտենցիալների տարբերության կապը 28
§ 14. Համապոտենցիալ մակերևույթներ 29
§ 15. Էլեկտրաունակություն 31
§ 16. Կոնդենսատորներ: Հարթ կոնդենսատորի էլեկտրաունակության բանաձևը 32
§ 17. Կոնդենսատորների հաջորդական և զուգահեռ միացումներ 34
§ 18. Լիցքավորված կոնդենսատորի էներգիան 36
Խնդիրների լուծման օրինակներ 37
Խնդիրներ 39
Գլուխ 1-ի համառոտ ամփոփումը 40

ԳԼՈՒԽ 2. Հաստատուն հոսանքի օրենքները

§ 19. Էլեկտրական հոսանք 43
§ 20. Հաստատուն էլեկտրական հոսանք: Հոսանքի ուժ 45
§ 21. Օհմի օրենքը շղթայի տեղամասի համար: Էլեկտրական դիմադրություն 47
§ 22. Լաբորատոր աշխատանք N1. Հաղորդչի տեսակարար դիմադրության որոշումը .. 49
§ 23. Դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից 50
§ 24. Գերհաղորդականություն 51
§ 25. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումներ 52
§ 26. Լաբորատոր աշխատանք N2. Հաղորդիչների հաջորդական և զուգահեռ միացումների ուսումնասիրումը 56
§ 27. Էլեկտրական հոսանքի աշխատանքն ու հզորությունը: Ջոուլ-Լենցի օրենքը 56
§ 28. Էլեկտրաշարժ ուժ 58
§ 29. Օհմի օրենքը լրիվ շղթայի համար 60
§ 30. Լաբորատոր աշխատանք N3. Հոսանքի աղբյուրի ԷՇՈՒ-ի և ներքին դիմադրության որոշումը 62
Խնդիրների լուծման օրինակներ 62
Խնդիրներ 63
Գլուխ 2-ի համառոտ ամփոփումը 65

ԳԼՈՒԽ 3. Էլեկտրական հոսանքը տարբեր միջավայրերում

§ 31. Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում 66
§ 32. Էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում 68
§ 33. Կիսահաղորդիչների խառնուկային էլեկտրահաղորդականությունը 71
§ 34. Էլեկտրոնախոռոչային (n-p) անցում 72
§ 35. Կիսահաղորդչային սարքեր 74
§ 36. Էլեկտրական հոսանքը էլեկտրոլիտների լուծույթում 77
§ 37. Ֆարադեյի օրենքն էլեկտրոլիզի համար 80
§ 38. Լաբորատոր աշխատանք N4. Էլեկտրոնի լիցքի որոշումը 82
§ 39. Էլեկտրական հոսանքը գազերում 82
§ 40. Ոչ ինքնուրույն և ինքնուրույն պարպումներ 84
§ 41. Պլազմա 87
Խնդիրների լուծման օրինակներ 88
Խնդիրներ 89
Գլուխ 3-ի համառոտ ամփոփումը 89

ԳԼՈՒԽ 4. Մագնիսականություն

§ 42. Մագնիսական փոխազդեցություն 91
§ 43. Լաբորատոր աշխատանք N5. Հոսանքի վրա մագնիսական դաշտի ազդեցության դիտումը 93
§ 44. Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտոր 93
§ 45. Ամպերի ուժ 98
§ 46. Լորենցի ուժ 100
§ 47. Լիցքավորված մասնիկի շարժումը համասեռ մագնիսական դաշտում 102
§ 48. Նյութի մագնիսական հատկությունները 103
Խնդիրների լուծման օրինակներ 105
Խնդիրներ 106
Գլուխ 4-ի համառոտ ամփոփումը 106

ԳԼՈՒԽ 5. Էլեկտրամագնիսական մակածում

§ 49. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը 108
§ 50. Մագնիսական հոսք 110
§ 51. Մակածման հոսանքի ուղղությունը: Լենցի կանոնը 111
§ 52. Լաբորատոր աշխատանք N6. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի ուսումնասիրումը 113
§ 53. Էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը 115
§ 54. Մրրկային էլեկտրական դաշտ 117
§ 55. Մակածման ԷլՇՈՒ-ն շարժվող հաղորդչում 118
§ 56. Ինքնամակածում 120
§ 57. Հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիան 122
Խնդիրների լուծման օրինակներ 123
Խնդիրներ 123
Գլուխ 5-ի համառոտ ամփոփումը 123

ԳԼՈՒԽ 6. Էլեկտրամագնիսական տատանումներ և ալիքներ

§ 58. Էլեկտրամագնիսական տատանումներ 125
§ 59. Տատանումների տեսության մի քանի կարևոր սահմանումներ և առնչություններ 126
§ 60. Ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումներ 128
§ 61. Տատանողական կոնտուրում ազատ տատանումների քանակական նկարագրությունը 130
§ 62. Մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումների համանմանությունը 133
§ 63. Փոփոխական էլեկտրական հոսանք 135

ԳԼՈՒԽ 3. Էլեկտրական հոսանքը տարբեր միջավայրերում

§ 31. Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում 66
§ 32. Էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում 68
§ 33. Կիսահաղորդիչների խառնուկային էլեկտրահաղորդականությունը 71
§ 34. Էլեկտրոնախոռոչային (n-p) անցում 72
§ 35. Կիսահաղորդչային սարքեր 74
§ 36. Էլեկտրական հոսանքը էլեկտրոլիտների լուծույթում 77
§ 37. Ֆարադեյի օրենքն էլեկտրոլիզի համար 80
§ 38. Լաբորատոր աշխատանք N4. Էլեկտրոնի լիցքի որոշումը 82
§ 39. Էլեկտրական հոսանքը գազերում 82
§ 40. Ոչ ինքնուրույն և ինքնուրույն պարպումներ 84
§ 41. Պլազմա 87
Խնդիրների լուծման օրինակներ 88
Խնդիրներ 89
Գլուխ 3-ի համառոտ ամփոփումը 89

ԳԼՈՒԽ 4. Մագնիսականություն

§ 42. Մագնիսական փոխազդեցություն 91
§ 43. Լաբորատոր աշխատանք N5. Հոսանքի վրա մագնիսական դաշտի ազդեցության դիտումը 93
§ 44. Մագնիսական ինդուկցիայի վեկտոր 93
§ 45. Ամպերի ուժ 98
§ 46. Լորենցի ուժ 100
§ 47. Լիցքավորված մասնիկի շարժումը համասեռ մագնիսական դաշտում 102
§ 48. Նյութի մագնիսական հատկությունները 103
Խնդիրների լուծման օրինակներ 105
Խնդիրներ 106
Գլուխ 4-ի համառոտ ամփոփումը 106

ԳԼՈՒԽ 5. Էլեկտրամագնիսական մակածում

§ 49. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթը 108
§ 50. Մագնիսական հոսք 110
§ 51. Մակածման հոսանքի ուղղությունը: Լենցի կանոնը 111
§ 52. Լաբորատոր աշխատանք N6. Էլեկտրամագնիսական մակածման երևույթի ուսումնասիրումը 113
§ 53. Էլեկտրամագնիսական մակածման օրենքը 113
§ 54. Մրրկային էլեկտրական դաշտ 115
§ 55. Մակածման ԷլՇՈՒ-ն շարժվող հաղորդչում 117
§ 56. Ինքնամակածում 118
§ 57. Հոսանքի մագնիսական դաշտի էներգիան 120
Խնդիրների լուծման օրինակներ 122
Խնդիրներ 123
Գլուխ 5-ի համառոտ ամփոփումը 123

ԳԼՈՒԽ 6. Էլեկտրամագնիսական տատանումներ և ալիքներ

..... 125
§ 58. Էլեկտրամագնիսական տատանումներ 126
§ 59. Տատանումների տեսության մի քանի կարևոր սահմանումներ և առնչություններ 128
§ 60. Ազատ էլեկտրամագնիսական տատանումներ 130
§ 61. Տատանողական կոնտուրում ազատ տատանումների բանաձևական նկարագրությունը 133
§ 62. Մեխանիկական և էլեկտրամագնիսական տատանումների համանմանությունը 135
§ 63. Փոփոխական էլեկտրական հոսանք .....

§ 64. Հոսանքի ուժի և լարման գործող արժեքներ 137
§ 65. Էլեկտրաէներգիայի հաղորդումը: Տրանսֆորմատոր 139
§ 66. Էլեկտրամագնիսական դաշտ 142
§ 67. Էլեկտրամագնիսական ալիքներ 144
§ 68. Էլեկտրամագնիսական ալիքների փորձնական հայտնաբերումը 147
§ 69. Ռադիոկապի սկզբունքը 149
Խնդիրների լուծման օրինակներ 151
Խնդիրներ 153
Գլուխ 6-ի համառոտ ամփոփումը 154

ՕՊՏԻԿԱ

Ներածություն 155

ԳԼՈՒԽ 7. Երկրաչափական օպտիկա

§ 70. Երկրաչափական օպտիկայի փորձարարական օրենքները: Լույսի ուղղագիծ տարածումը 157
§ 71. Լույսի անդրադարձումը 159
§ 72. Պատկերի կառուցումը հայելիներում 161
§ 73. Լույսի բեկումը 163
§ 74. Ճառագայթների ընթացքը հարթ զուգահեռ թիթեղում և եռանկյուն պրիզմայում 166
§ 75. Լույսի լրիվ անդրադարձումը 167
§ 76. Լաբորատոր աշխատանք N 7. Ապակու բեկման ցուցչի որոշումը 169
§ 77. Ոսպնյակներ 170
§ 78. Պատկերի կառուցումը ոսպնյակներում: Բարակ ոսպնյակի բանաձևը 172
§ 79. Լաբորատոր աշխատանք N 8. Հավաքող ոսպնյակի կիզակետային հեռավորության որոշումը 175
§ 80. Լույսի տարածման արագությունը 176
Խնդիրների լուծման օրինակներ 178
Խնդիրներ 179
Գլուխ 7-ի համառոտ ամփոփումը 180

ԳԼՈՒԽ 8. Ալիքային օպտիկա

§ 81. Լույսի դիսպերսիան 181
§ 82. Հյուգենսի սկզբունքը: Լույսի անդրադարձման և բեկման օրենքների արտածումը 183
§ 83. Լույսի ինտերֆերենցը 185
§ 84. Լույսի դիֆրակցիան 190
§ 85. Լաբորատոր աշխատանք N 9. Լուսային ալիքի երկարության որոշումը դիֆրակտային ցանցի օգնությամբ 193
§ 86. Լույսի բևեռացումը 194
§ 87. Էլեկտրամագնիսական ալիքների սանդղակ 196
Խնդիրների լուծման օրինակներ 200
Խնդիրներ 201
Գլուխ 8-ի համառոտ ամփոփումը 202

ԳԼՈՒԽ 9. Հարաբերականության հատուկ տեսության տարրերը

§ 88. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթները 203
§ 89. Հարաբերականության հատուկ տեսության կանխադրույթներից բխող հետևանքներ 205
§ 90. Զանգվածի կախումն արագությունից: Ռելյատիվիստական մեխանիկա 208
§ 91. Զանգվածի և էներգիայի կապը 209
Խնդիրների լուծման օրինակներ 211
Խնդիրներ 212
Գլուխ 9-ի համառոտ ամփոփումը 212

ՔՎԱՆՏԱՅԻՆ ՖԻԶԻԿԱ

Ներածություն 213

ԳԼՈՒԽ 10. Լուսային քվանտներ

§ 92. Քվանտային տեսության ծագումը 214
§ 93. Ֆոտոն 216
§ 94. Ֆոտոէֆեկտ, ֆոտոէֆեկտի առանձնահատկությունները 217
§ 95. Ֆոտոէֆեկտի տեսությունը 220
§ 96. Ֆոտոէֆեկտի կիրառությունները 223
§ 97. Լաբորատոր աշխատանք N10. Պլանկի հաստատունի որոշումը 224
§ 98. Լույսի քիմիական ազդեցությունը: Լուսանկարչություն 225
§ 99. Էլեկտրամագնիսական ալիքների երկակի բնույթը 227
Խնդիրների լուծման օրինակներ 228
Խնդիրներ 229
Գլուխ 10-ի համառոտ ամփոփումը 230

ԳԼՈՒԽ 11. Ատոմային ֆիզիկա

§ 100.Ատոմի կառուցվածքը 231
§ 101. Բորի կանխադրույթները: Ատոմի Բորի մոդելը 235
§ 102. Լազեր 239
Խնդիրների լուծման օրինակներ 242
Խնդիրներ 243
Գլուխ 11-ի համառոտ ամփոփումը 243

ԳԼՈՒԽ 12. Ատոմի միջուկի ֆիզիկա

§ 103. Միջուկի կառուցվածքը 244
§ 104. Միջուկային ուժեր: Ատոմի միջուկի կապի էներգիան 247
§ 105. Միջուկային ռեակցիաներ 250
§ 106. Ռադիոակտիվություն 251
§ 107. Ատոմային էներգիա 255
§ 108. Ջերմամիջուկային ռեակցիաներ 258
§ 109. Ռադիոակտիվ ճառագայթումների կենսաբանական ազդեցությունը 260
Խնդիրների լուծման օրինակներ 262
Խնդիրներ 263
Գլուխ 12-ի համառոտ ամփոփումը 263

ԳԼՈՒԽ 13. Տարրական մասնիկներ

§ 110. Տարրական մասնիկներ և նրանց փոխակերպումները 265
§ 111. Պոզիտրոն: Հակամասնիկներ 267
§ 112. Քվարկներ 269
Գլուխ 13-ի համառոտ ամփոփումը 271

ՉԱՓՈՒՄՆԵՐ: ՉԱՓՄԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ 272
ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ՊԱՏԱՍԽԱՆՆԵՐ 275

ՌՈԲԵՐՏ ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ
ԳԱԳԻԿ ՄԵԼԻՔՅԱՆ
ԱԼԲԵՐՏ ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

ՖԻԶԻԿԱ 10

Հրատ. խմբագիր՝ *Մ. Մաիլյան*
Տեխն. խմբագիր՝ *Ռ. Ախիրյան*
Գեղ. խմբագիր՝ *Գ. Գյուլամիրյան*
Սրբագրիչ՝ *Ա. Գոնչեգուլյան*

Գծանկարները՝ «ԴԱՐ» ՍՊԸ
Շապիկը՝ Արտակ Հարությունյանի

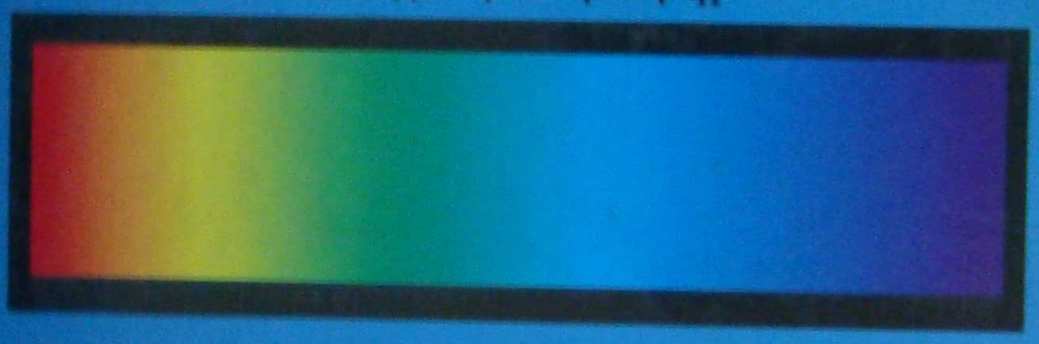
Չափսը՝ 70×100 1/16: Տպագր. 17,5 մամ.: Հրատ. 21,41 մամ.:
Տպաքանակը՝ 18800:

«ԼՈՒՅՍ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ» ՓԲԸ
Երևան-9, Իսահակյան 28:

«ՀԱԿՈԲ ՄԵՂԱՊԱՐՏ ՏՊԱԳՐԱՏՈՒՆ» ՓԲԸ
Երևան-9, Տերյան 91:

ՀՀ Ազգային գրադարան
NL0256488

Դպրոցական ցամքիսովչվի միջոցով սպիտակ լույսի տարրալուծումը



Սպեկտրային գույների հաջորդականությունը

Լույսի տարրալուծումը պրիզմայի միջոցով